

**“VARIACIÓN DE LA DEFLEXIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO  
FLEXIBLE TÍPICA EN CALI MEDIANTE EL USO DE UN GEO TEXTIL SINTÉTICO  
TEJIDO”.**

**Presentado a:  
ING. DIEGO DUQUE**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA  
AGOSTO – DICIEMBRE  
SANTIAGO DE CALI  
2016**

**“VARIACIÓN DE LA DEFLEXIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO  
FLEXIBLE TÍPICA EN CALI MEDIANTE EL USO DE UN GEO TEXTIL SINTÉTICO  
TEJIDO”.**

**PABLO CESAR LASSO GONZÁLEZ**

**Director:**

**DIEGO DUQUE**  
**Ing. Civil**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL Y GEOMATICA**  
**AGOSTO – DICIEMBRE**  
**SANTIAGO DE CALI**  
**2016**

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

**JURADO**

---

---

**JURADO**

---

---

SANTIAGO DE CALI, 29 DE SEPTIEMBRE 2017

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>9</b>
<b>1. EL PROBLEMA .....</b>	<b>10</b>
1.1. DESCRIPCIÓN .....	11
1.2. FORMULACIÓN .....	11
1.3. OBJETIVOS .....	11
1.3.1. Objetivo General .....	11
1.3.2. Objetivos Específicos.....	11
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	12
<b>2. MARCO TEORICO .....</b>	<b>14</b>
2.1. ANTECEDENTES .....	15
2.2. ESTADO DEL ARTE.....	18
2.2.1. Clasificación de los geo textiles.....	19
2.2.1.1. Clasificación según su función.....	19
2.2.1.2. Clasificación según su fabricación.....	19
2.2.1.3. Clasificación según la naturaleza de polímero.....	21
2.2.1.4. Clasificación según la presentación del polímero.....	22
2.3. COMPARATIVO DE GEO TEXTILES SEGÚN CRITERIO NORMA ISO.....	23
2.3.1. Comparativo geo textiles no tejidos resistencia a tracción, en ISO 10319 (kn/m)...23	
2.3.2. Comparativo geo textiles no tejidos resistencia de rotura (factor e).....	23
2.3.3. Comp. geo textiles no tejidos resistencia cbr a perforación, en iso 12236 (n).....	24
2.4. ENSAYO PRUEBA DE PLACA.....	24
2.5. ENSAYO DE VIGA BENKELMAN.....	27
2.6. PAVIMENTOS.....	28
2.6.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	29
2.7. UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	34
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>33</b>
3.1. ETAPA 1.....	34
3.1.1. Concreto asfáltico.....	44
3.1.2. Imprimación.....	48
3.2. ETAPA 2.....	49
3.2.1. Prueba de placa.....	49
3.2.1.1. Informe ensayo prueba de placa en capa base (con geo textil).....	52
3.2.1.2. Informe ensayo prueba de placa en capa base (sin geo textil).....	54
3.2.1.3. Informe ensayo prueba de placa en carpeta asfáltica (con geo textil).....	56
3.2.1.4. Informe ensayo prueba de placa en carpeta asfáltica (sin geo textil).....	58
3.2.2. Ensayo Viga Benkelman.....	60

3.2.2.1.	Informe ensayo viga Benkelman en carpeta asfáltica (con geo textil).....	61
3.2.2.2.	Informe ensayo viga Benkelman en carpeta asfáltica (sin geo textil).....	61
<b>4.</b>	<b>RESUMEN DE RESULTADOS .....</b>	<b>64</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>6.</b>	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>66</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Imagen 1. Carrera 50 (sentido norte sur).....	10
Imagen 2. Puente cra 1 vía Palmira Cali.....	11
Imagen 3. Puente calle 70 con cra 8.....	12
Imagen 4. Geo textil tejido.....	13
Imagen 5. Geo textil empleado en obra hidráulica.....	16
Imagen 6. Filtración, protección, refuerzo y separación de geotextiles.....	19
Imagen 7. Geo sintético de refuerzo no tejido .....	20
Imagen 8. Geo sintético de refuerzo no tejido .....	21
Imagen 9. Propiedades físicas de los polímeros en geotextiles.....	22
Imagen10. Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles.....	23
Imagen11. Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles.....	23
Imagen12. Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles.....	24
Imagen13. Equipo para ensayo prueba de placa.....	26
Imagen14. Equipo de reacción.....	27
Imagen15. Evacuación de agua .....	27
Imagen16. Fortex.....	28
Imagen17. Equipo para ensayo viga Benkelman.....	28
Imagen 18. capas de un pavimento flexible.....	29
Imagen 19. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali.....	32
Imagen 20. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	33
Imagen 21. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali.....	34
Imagen 22. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	35
Imagen 23. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	36
Imagen 24. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali.....	36
Imagen 25. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	37
Imagen 26. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	38
Imagen 27. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	39

Imagen 28. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	40
Imagen 29. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	41
Imagen 30. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	42
Imagen 31. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	48
Imagen 32. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	49
Imagen 33. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali.....	50
Imagen 34. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali.....	51
Imagen 35. Ubicación barrió 1 de mayo en cali.....	52
Imagen 36. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	54
Imagen 37. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	56
Imagen 38. Ubicación barrio 1 de mayo en Cali .....	58

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de suelo o ensayo .....	24
Tabla 2. Categorías de carretera vs ancho de zona.....	29
Tabla 3. Especificación internacional geotextiles sintético tejido t2400.....	31
Tabla 4. Peso de material que pasa por cedazos.....	48
Tabla5. Estabilidad de Marshall.....	48
Tabla 6. Prueba de placa ensayo #1.....	53
Tabla 7. Prueba de placa grafico ensayo #1.....	53
Tabla 8. Deflexiones y módulos ensayo #1.....	53
Tabla 9. Prueba de placa ensayo #2 .....	55
Tabla 10. Prueba de placa grafico ensayo #2.....	55
Tabla 11. Deflexiones y módulos ensayo #2.....	55
Tabla 12. Prueba de placa ensayo #3 .....	57
Tabla 13. Prueba de placa grafico ensayo #3.....	57
Tabla 14. Deflexiones y módulos ensayo #3.....	57
Tabla 15. Prueba de placa ensayo #4 .....	59
Tabla 16. Prueba de placa grafico ensayo #4.....	59
Tabla 17. Deflexiones y módulos ensayo #4.....	59
Tabla 18. ancho de carril vs distancia de ensayo.....	60
Tabla 19. ensayo de viga Benkelman sobre carpeta asfáltica sin geotextiles.....	60
Tabla 20. ensayo de viga Benkelman sobre carpeta asfáltica con geotextiles.....	61



## INTRODUCCION

Pocas veces se ha realizado en la ciudad de Cali trabajos relacionados con el uso de materiales nuevos y más aún geo textiles de algún tipo comercial o no comercial en el diseño y construcción de pavimentos, por lo que en este trabajo se piensa ilustrar y plantear como varía mecánicamente algunas propiedades de los pavimentos a través de ensayos a los pavimentos mismos con el uso de geo textiles tejidos.

A diferencia un ensayo de prueba de placa común aplicado a pavimentos para caracterización del mismo, este trabajo planea abarcar en un pavimento junto con un geo textil tejido como material adicional la variación promedio de deflexiones que se generan entre un pavimento que tiene y uno que no tiene dicho geo textil teniendo como punto de comparación sus módulos resilientes obtenidos.

A diferencia del alcance del ensayo de viga Benkelman que de igual forma pero en más profundidad da un análisis cualitativo y cuantitativo del comportamiento mecánico de un pavimento flexible típico de la ciudad de Cali, además de que este se caracteriza por ser un ensayo no destructivo y de fácil realización para manera técnica y práctica.

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN

En Cali el diseño y construcción de pavimentos es una industria que maneja grandes presupuestos de la ciudad siendo así un tema no menor. Es de gran importancia saber para la ciudad y el desarrollo futuro de la misma basados en su crecimiento que los pavimentos deben soportar un alto tráfico vehicular y cargas elevadas por los diferentes tipos de vehículos que transitan en ella.

En los pavimentos de Cali podemos abarcar varios problemas, uno de ellos claramente es la durabilidad que tienen, ya que se estipulan diseños para que tengan una vida útil determinada y en muy pocas ocasiones se cumple por la variación de cargas en el tráfico vehicular que superan en algún rango para las que fueron estipuladas los pavimentos en su momento, un claro ejemplo de esto se ve en la siguiente imagen.



*Carrera 50 (sentido Norte-Sur) Fuente: metrocali.gov.co*

Otro tipo de problemas que afectan claramente la vida útil de un pavimento refieren más a formas empíricas y teóricas como el exceso de deformaciones permanentes que se ven en la fatiga del mismo y por diversos factores: químicos, ambientales, climáticos e incluso sociales a los que la ciudad se ve sometida y que juegan un papel fundamental a la hora no solo del diseño ( para la construcción de una vía a la hora ser licitada, presupuestada y finalmente adjudicada a su construcción) sino de la vida útil de este.

Enfocándonos en todos estos factores anteriormente mencionados, encontramos como principal problema a abarcar por este proyecto de grado, la deflexión de la estructura como es un pavimento flexible típico en Cali reforzado con geo sintéticos.

Como principal objeto de estudio delimitamos el problema a la resistencia del pavimento y enfatizamos en las deformaciones verticales, totales y residuales para el análisis del problema como propiedad mecánica y el cálculo de las deformaciones respectivas ya sea total, residual o remanente.



Prensa Alcaldía de Cali. (2015). *Puente Cra 1 vía Palmira- Cali* [Foto]. Recuperado de: [metrocali.gov.co](http://metrocali.gov.co)

## 1.2. FORMULACIÓN

- ¿Cuál es la variación de la deformación mediante el uso de un geo textil sintético tejido aplicado en la subrasante y las capas granulares de una estructura de pavimento flexible típico en Cali?

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1. Objetivo general

- Encontrar la variación de la deformación mediante el uso de un geo textil sintético tejido aplicado en la subrasante y las capas granulares de una estructura de pavimento flexible típico en Cali.

### 1.3.2. Objetivo específico

- Aplicar el ensayo de viga Benkelman en el pavimento usando el geo textil tejido y sin el uso de este.
- Aplicar el ensayo de Prueba de placa en el pavimento usando el geo textil tejido y sin el uso de este
- Calcular y comparar los diferentes módulos de reacción de los pavimentos y realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de los resultados obtenidos.

## 1.4. JUSTIFICACIÓN

Los pavimentos comunes o típicos en la ciudad de Cali son el resultado del diseño y posterior construcción del requerimiento mínimo que se necesita en ellos para suplir la demanda de tráfico, por tal motivo la investigación o el uso de materiales innovadores en su construcción no es tan notorio haciendo de este un campo novedoso.

El uso de geo textiles ya ha demostrado en otros países la eficiencia para el mejoramiento de materiales que conforman la subrasante y en el refuerzo de capas propiamente dichas de los materiales de la estructura de pavimentos (Beltrán, 2013, p.19)

En la ciudad de Cali aproximadamente la mitad de los barrios se encuentran con vías que tienen su pavimento en mal estado, razón por la cual se debe planear y hacer la rehabilitación y arreglo de las mismas.

Además de lo mencionado anteriormente la ciudad de Cali está en constante crecimiento hacia las zonas de las laderas (oeste de la ciudad) como hacia el sur de la misma (colindando con Jamundí) en urbanización de terreno para vivienda, lo que provoca que en un futuro a corto plazo se tengan que construir más vías pavimentadas. Haciendo necesario conocer más del comportamiento mecánico y reacción de los pavimentos a materiales geo textiles en su construcción que soporten ese alto tráfico vehicular al que se proyecta serán sometidas.



Personería de Cali (s.f). *Puente Calle 70 con Cra 8* [Foto]. Recuperado de [Personeriacali.gov.co](http://Personeriacali.gov.co)

Con base a esto y sumando condiciones climatológicas (Aguas Lluvias) y las altas Temperaturas que presentan en la ciudad, el alto nivel de tráfico vehicular y la masiva cantidad de vías transitadas que se pueden encontrar en la ciudad se vuelve cada vez más necesario encontrar alternativas en el diseño y construcción de pavimentos y que estos tengan una buena resistencia y cumplan con la normativa de su vida útil, siendo el uso de geo textiles tejidos y su comportamiento mecánico una alternativa a analizar para suplir esa demanda en la nivelación y estabilización de suelos para subrasantes y capas granulares que componen los pavimentos.



Personería de Cali (2011, Bogotá, Colombia) Geo textil tejido [Foto]. Recuperado de <http://www.geomatrix.com>

Los geo textiles como capa adicional en el comportamiento del pavimento tiene una clara diferenciación por sus cualidades de bajo creep y comportamiento unifilar; mas sin embargo como material adicional de diseño en el mejoramiento de las propiedades de la capa de un pavimento se presume tienen el mismo efecto en base a su composición tejida.

Por esto se realizan los 2 ensayos abordando la temática y el análisis de este trabajo de grado a más profundidad; Da un claro énfasis en evaluar el efecto de un geo textil en el módulo de reacción de un pavimento flexible típico en Cali, por lo que se consideraría correcto establecer ensayos de prueba de placa (adicional es un método de clara caracterización geométrica y mecánica del pavimento ), y profundiza en la caracterización del pavimento cuando se realizan los ensayos de viga Benkelman por la caracterización estructural que arroja del pavimento y por la representatividad y relación que tiene este con el flujo vehicular en las vías independiente del orden de estas.

Los geo textiles a usar en el proyecto de grado son proveídos por Geomatrix empresa dedicada y certificada en el asesoramiento, empleo y uso de materiales geo sintéticos para pavimentos generando soluciones versátiles a la demanda generada en la actualidad, por lo que el material dado para la investigación de mi trabajo de grado es de carácter gratuito en pro del conocimiento que este estos ensayos y análisis me puedan arrojar en su culminación.

Por el motivo anterior es claro el alcance de material geo sintético (geo textil tejido) que es dado por la compañía, por lo que las geo mallas no son abarcadas como punto comparativo en ningún momento.

## 2. MARCO TEORICO

El marco de referencia que abarca el uso de geotextiles para uso vial es amplio y se acorta a medida que se especifican las condiciones de sitio como son la ciudad de Cali y su acelerado crecimiento en densidad de población demográfica y longitudinal hacia las ciudades cercanas como son por ejemplo Jamundí; si bien el uso de geotextiles en Cali para las nuevas vías se está empleando no solo como alternativa sino prácticamente como requisito en el mejoramiento de ciertas propiedades del pavimento en el diseño y posterior construcción de vías la necesidad de análisis entre el cambio que se tenía con las vías sin el uso del geo textil hace que el marco de referencia se amplíe.

Por lo tanto en el presente trabajo se abarca de manera académica mediante la contextualización, interventoría y construcción de una vía la variación de uno de los comportamientos mecánicos como es la deflexión vertical de una estructura de pavimento flexible típica en Cali mediante la ejecución de 2 ensayos:

El primero de estos es el ensayo de viga Benkelman el cual consiste en aplicar una carga en condiciones de sitio, esta además de ser determinada, es establecida por un camión de peso normalizado de ejes que hará presión a la carpeta asfáltica, y medir los asentamientos producidos determinando de esta la deflexión promedio para el cálculo de la deflexión recuperable una vez desplazada la fuerza.

El segundo ensayo es la prueba de placa el cual consiste en aplicar una carga para asentar y posterior incremento gradual sobre una placa rígida colocada sobre la superficie del terreno a ensayar, y medir los asentamientos producidos determinando de esta la deflexión promedio para el cálculo del módulo de reacción correspondiente.

Las características de un pavimento flexible típico en la ciudad de Cali son definidas más adelante; Y cabe destacar que el uso de dicho geo textil en pavimentos, posterior cálculo de deflexiones y ensayos de este es el punto de comparación de la aplicación del mismo en la ciudad de Cali como material viable en el diseño y construcción de pavimentos.

Dicho geo textil tejido suele aplicarse entre la subrasante y la capa granular de sub base, finalmente y con los resultados obtenidos de los ensayos se hará un análisis cualitativo y cuantitativo del impacto que genera el material geo textil tejido en los pavimentos.

## 2.1. ANTECEDENTES

En busca de antecedentes que rijan el uso de geotextiles en general en grandes proyectos viales y sobre todo investigaciones que asemejen el tema de variaciones respecto a vías sin el uso de estos encontramos que en países como España la utilización de los geotextiles en diversos campos de la ingeniería se ha visto incrementada de una forma considerable en los últimos años. Recientemente, la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento ha publicado artículos (de carácter investigativo aun) sobre geotextiles para posteriormente incluirlos en el diseño de estos proyectos mediante manuales de geotecnia especificados en la norma que rige actualmente.

Sobre geotecnia vial en lo referente a materiales para la construcción de explanaciones y drenajes. Se trata, en concreto, artículos específicos titulados en sesiones como “Geotextiles” y abarcando sobre todo el uso de geotextiles como elemento de “filtro y drenaje”. Estos artículos (artículo 442 y 290) El primero recoge varios aspectos generales que se deben de tener en cuenta sobre geotextiles mientras que el segundo incluye, básicamente, los valores mínimos requeridos a estos materiales cuando se van a utilizar en obras de carreteras, cuya función sea la de separar capas de diferentes granulometría o la de filtro en sistemas de drenaje. Estos estudios cabe destacar que se realizan en la Dirección General y la Universidad de Cantabria para finalmente y en trabajo conjunto obtener un Manual de Geotextiles en Carreteras.

Las primeras referencias de la utilización moderna de geotextiles se dan en los años 60 y se refieren a la construcción de obras marítimas en Holanda. Comenzaron a emplearse en funciones de drenaje y filtración. A partir de ese momento, la tecnología de diseño y aplicación se va desarrollando tanto en Europa como en Estados Unidos y se consiguen nuevas funciones para otros campos de la obra civil, como son el refuerzo y separación del terreno. Un momento clave en la historia de estos materiales fue la aparición de la palabra “geo textil” en el año 1977. En un Simposio Internacional sobre el empleo de textiles en la Geotecnia celebrado en París, J.P. Giroud bautizó a estos productos con ese nombre. A partir de entonces, se organizan conferencias y congresos para avanzar en el desarrollo tecnológico y la normativa a aplicar sobre estos materiales. (Revista arte y comercio, p.122)

En principios se le llamaba geo compuesto al producto en el que al menos uno de sus componentes es un geo textil o un producto relacionado y se emplea, como los geotextiles, en aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil, caso como los usados en Holanda pioneros de este tipo de ingeniería.





(2017, Cali, Colombia) *Geo textil empleado en obra hidráulica* [imagen5]

Históricamente en Colombia poco se ha hecho énfasis en investigaciones de geo textiles aplicables a pavimentos como material para mejoramiento de propiedades mecánicas del mismo, por lo que nos remitimos en un comienzo del trabajo a investigaciones realizadas en otros países donde se hace buen foco en el tema.

Hace más de 30 años, según (Beltrán, 2013, p.18) las geo mallas para capas granulares y asfálticas vienen desempeñando un papel fundamental junto con los geo textiles, en el campo de la ingeniería de pavimentos, superando incluso a los métodos tradicionales de mejoramiento de las capacidades del suelo con la adición de otros productos directamente sobre el suelo.

El desarrollo y aplicación de la tecnología de las geo mallas y geo textiles, ha sido notablemente implementada en los Estados Unidos, país en donde se han logrado un importante avance en el uso de estos. El crecimiento en la aplicación de las geo mallas y geo textiles, también se debe a factores de precio en comparación con los geo textiles, pero depende del tipo de obra lo que determina el producto a implementar. Constructivamente, las geo mallas ofrecen grandes ventajas en términos de fácil instalación, rigidez, condiciones de almacenaje, entre otras. (Beltrán, 2013, p.19)

En temas estadísticos, se puede traer el ejemplo obtenido del siguiente link [www.revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/download/1181/2184](http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/email/article/download/1181/2184), en el cual se establecen las ventajas del uso de geo sintéticos y específicamente, “*cálculos del ahorro en espesor de capas comparando los espesores de la subbase en un diseño sin refuerzo, uno con geo malla y uno con geo textil*”. Pese a que el objetivo principal del presente trabajo no es la evaluación económica del producto, es importante mostrar una de las tantas ventajas que ofrece el uso de los



geo sintéticos en la reducción de espesores de capas granulares en pavimentos. (Beltrán, 2013, p.19).

Los geo textiles además de utilizarse en obras de pavimentos, se emplean en ferrovías, obras mineras, lagunas, estanques, taludes, zonas con problemas de erosión, muros de contención por lo que es claro que a la hora de seleccionar cuál de todos los tipos de geo textiles sintéticos tejidos que se encuentran en el mercado usaremos nos basamos en las características enunciadas en Campaña “*Los Geo sintéticos Aplicados a Obras de Pavimentos Flexibles*” realizado por Mata Ed al. (2011), enfocándonos en sus propiedades de tipo mecánico, hidráulico y de durabilidad.

Hasta el momento los geo sintéticos fueron diseñados y utilizados para cumplir las funciones de separación, refuerzo, filtración, drenaje, protección y de acuerdo con su función, los geo sintéticos tienen sus propiedades de tipo mecánico, hidráulico y de durabilidad (Mendoza, 2014, p.27) por lo que el enfoque del proyecto se limita una de las funciones ya establecidas por el autor y más específicamente en la parte mecánica con el estudio de deflexiones y deformaciones que se estudian en un pavimento con geo textiles aplicados.

En el manual INVIAS se encuentra estipulado la manera para diseñar y la normativa que se debe cumplir para lo correspondiente a carreteras en la ciudad de Cali, basándonos en eso, se empleó la norma I.N.V E- 168 “*Ensayo de placa con carga estática no repetida para emplear en la evaluación y diseño de pavimentos*” como guía para los ensayos de prueba de placa en lo correspondiente a pavimentos típicos y de forma análoga una usado el geo textil sintético tejido del proyecto.

Los geo textiles sintéticos tejidos usados en vías tienen características de estabilización de suelos blandos por sus capacidades hidráulicas y acomodación a la sinuosidad longitudinal del terreno, fácil manejo y alta tenacidad según estudios realizados por geomatrix, empresa especialista fabricante desde hace algunos años.

Es muy común que en las obras encontremos diferentes tipos de suelos con propiedades mecánicas y físicas diversas, así como su conformación o topografía:

Los suelos blandos, pantanosos o con baja capacidad de carga que se ven sometidos a cargas puntuales o dinámicas son un riesgo para la vida útil de las estructuras construidas sobre estos (vías pavimentadas, vías férreas, cimentaciones, plataformas, entre otros), ya que tienden a deformarse.

Un suelo reforzado con un geo textil se espera tienda a disminuir significativamente su deformación ya que estas absorberá y distribuirá en un área mayor las cargas transmitidas  
Refuerzo de muros y taludes.

En terrenos con topografía muy variada o accidentada, los muros de contención son una excelente alternativa para la optimización del área de construcción y obtener plataformas horizontales con la capacidad de carga requerida.

Un muro de contención tiene el propósito de mantener una diferencia entre los niveles del suelo con el objetivo de construir vías, estacionamientos, estribos de aproximación en puentes, bordos para celdas de rellenos sanitarios, rampas de acceso, diques para canales y ríos, terraplenes respetando el derecho de vía, reconstrucción de taludes naturales.

Con este sistema se logra que trabajen en conjunto los suelos friccionantes con su gran resistencia a la compresión y el geo textil con su gran capacidad para absorber y distribuir los esfuerzos de tensión

## **2.2. ESTADO DEL ARTE**

Como punto de partida se definen algunos conceptos y se determinan algunas características que abarcan el alcance de este proyecto de grado.

### **2.2.1. Clasificación de los geotextiles**

#### **2.2.1.1. Clasificación según su funciones**

Los geo compuestos o llamados geotextiles se caracterizan por desarrollar varias funciones simultáneas una vez colocados en el terreno.

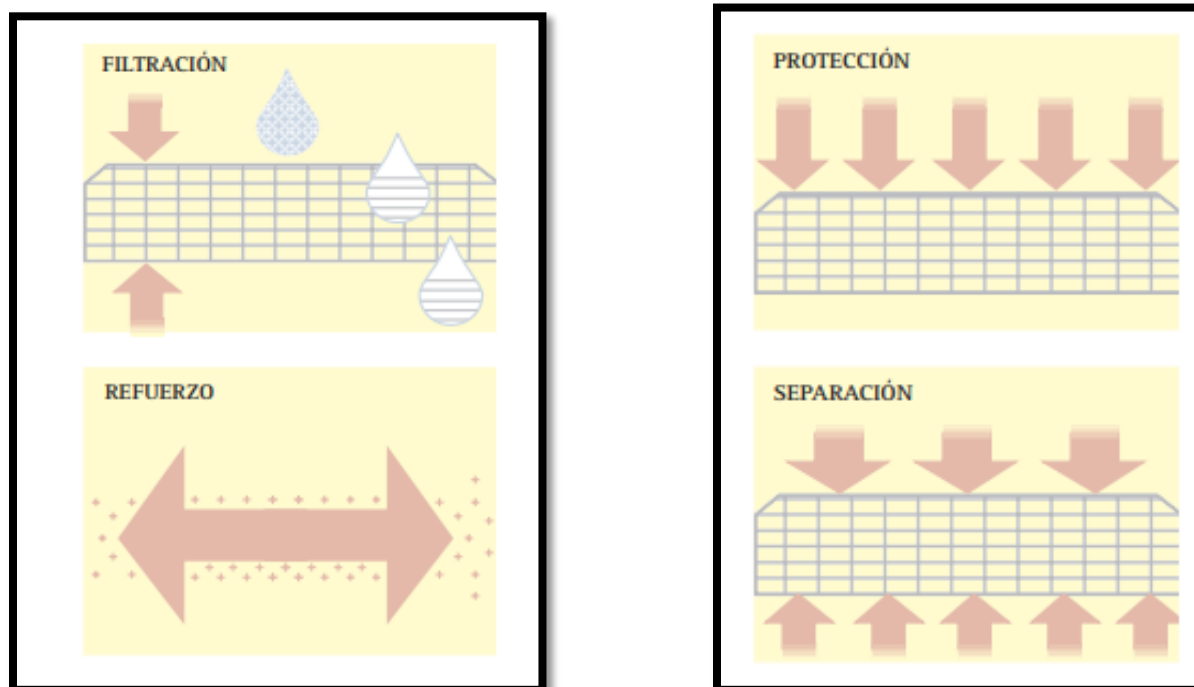
Esta propiedad les garantiza una posición ventajosa frente a otros sistemas o productos que existen en el mercado por lo que su uso en ciudades como Cali para la creación de vías hace por su polifuncionalidad que esto sea económico, añadido a la practicidad de su fácil uso y aplicación.

Los productos relacionados con los geotextiles se caracterizan por funcionar de forma análoga a los geotextiles y por cierta resistencia a tracción; además, están fabricados con base en la función filtración y la función de flexibilidad los cuales son criterios decisivos en el diseño en aplicaciones como dren mediante entrelazado y ligadura de fibras y filamentos, los más usados son los siguientes: geo mallas, georredes, geo esteras (geomat) y geo células. (Revista arte y comercio, p.124)

**Filtración:** El geo textil retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.

**Separación:** Separa dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) y así evita la mezcla de materiales.

**Drenaje:** El geo textil conduce y evacua líquidos (agua) e incluso gases de la obra a realizarse.



(2017, Cali, Colombia) Filtración, protección, refuerzo y separación en geotextiles  
[Imagen6]

### 2.2.1.2. Clasificación según el método de fabricación

Los geotextiles y productos relacionados con geotextiles se fabrican utilizando diferentes procesos. Todos están fabricados con polímeros estirados en forma de fibras o hilos, formados por un determinado número de fibras.

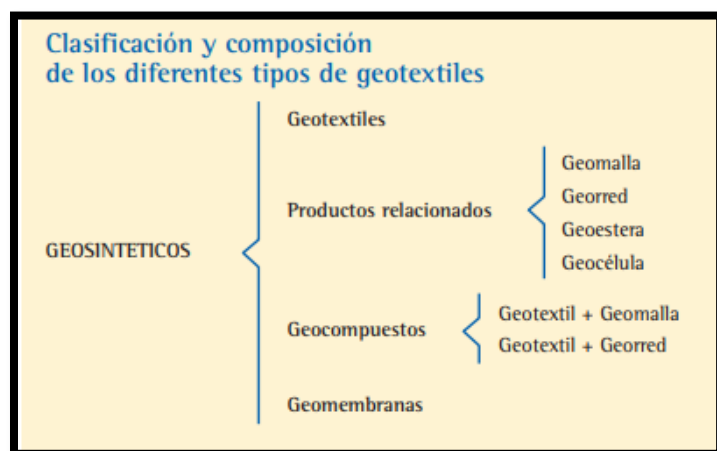
Los diferentes procesos de fabricación conducen a la obtención de productos geotextiles que poseen una amplia gama de propiedades. Para la producción de geotextiles no tejidos se utilizan filamentos continuos o fibras (cortadas). Los geotextiles se fabrican utilizando diferentes tipos de hilos tales como hilados, filamentos y cintas de película, o hilos y cintas fibrilados.

Las cintas de película e hilos fibrilados se producen normalmente sólo a base de polipropileno y polietileno. Estos productos se fabrican mediante extrusión de una película; se corta la película en cintas individuales y se procede al posterior estirado mediante un proceso uniaxial. Las cintas de película gruesa son demasiado rígidas para la manipulación en el urdido y en la tejeduría, y, por consiguiente, son fibriladas después del proceso de estirado y antes del bobinado y torcido. Estos tipos de hilo se denominan después hilos de película fibrilados.

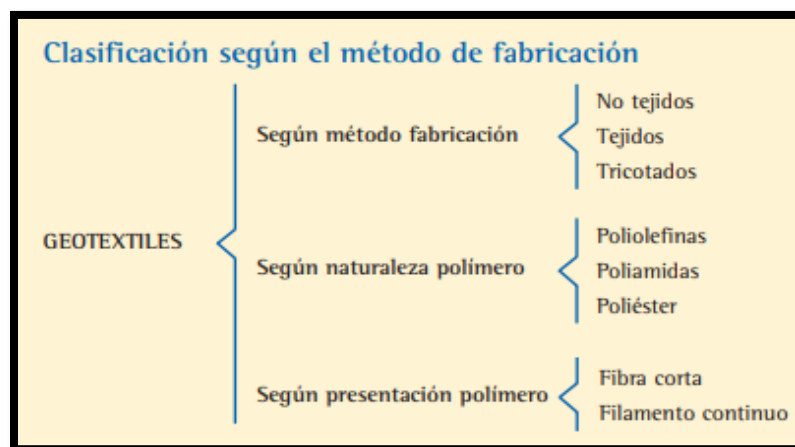
Llegado este punto conviene recalcar que el proceso de estirado es muy importante en la producción de los diferentes tipos de fibras poliméricas, de filamentos y de cintas. (Revista arte y comercio, p.126)

Durante este proceso, las cadenas poliméricas resultan alineadas a lo largo del filamento o de la longitud de la cinta y su cristalinidad, propiedades mecánicas y durabilidad aumentan. Y es que las propiedades mecánicas del producto dependen de los detalles del proceso de fabricación. Los tipos de fibras, filamentos y cintas utilizados en la fabricación de tales geotextiles son producidos principalmente por un proceso de hilatura por fusión.

Para producir fibras y filamentos, el polímero fundido es extruido a través de los orificios de una hilera, enfriado, estirado por extensión y de acuerdo con el uso final: depositado sobre una pantalla para formar una estructura plana (filamento continuo o no tejido) ; convertido en fibras cortadas mediante rizado y corte a una longitud determinada; convertido en multi o monofilamentos y enrollado de los filamentos después del estirado directamente sobre carretes. En el caso de la producción de multifilamentos esta técnica es conocida como hilatura-estirado.



(2017, Unican) Geo sintético de refuerzo no tejido [Imagen7]



(2017, Unican) Geo sintético de refuerzo no tejido [Imagen8]

### 2.2.1.3. Clasificación según la naturaleza del polímero

Todas las fibras, filamentos y cintas que forman los geotextiles son polímeros. Estos últimos se definen como sustancias orgánicas macromoleculares de grandes pesos moleculares (10.000 g/mol). Los polímeros utilizados en la fabricación de los geotextiles son de origen sintético, es decir, producidos por vía química a partir de sustancias de bajo peso molecular. Cualquier polímero consta de largas cadenas moleculares, cada una de las cuales está compuesta de muchas unidades químicas idénticas. Cada unidad puede estar integrada por uno o varios monómeros, cuyo número determina la longitud de la cadena polimérica y el peso molecular resultante. El peso de refuerzo de terraplén en un vertedero, puede afectar a las propiedades físicas (resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad, resistencia al impacto y al calor así como a la durabilidad).

Las propiedades físicas y mecánicas de los plásticos están también afectadas por los enlaces dentro y entre cadenas, la ramificación de la cadena y el grado de cristalinidad. La orientación de los polímeros por estiramiento mecánico para formar fibras y filamentos trae como resultado unas propiedades de tracción más alta y una durabilidad aumentada. Cuando las moléculas se vuelven más orientadas, las fibras resultan más fuertes.

No se suelen utilizar polímeros naturales porque se degradan más fácilmente frente a ataques químicos que los sintéticos; además, los sintéticos se producen de forma más barata que los naturales. A los polímeros se les suele añadir algún aditivo para mejorar determinadas características. Los más utilizados, en lo referente a la fabricación de geotextiles, son los protectores de la radiación ultravioleta, debido a que los rayos UV provocan la degradación del geo textil.

**Poli olefinas (polietileno y polipropileno):** Son los polímeros más utilizados en la fabricación de geotextiles, principalmente el polipropileno (PP) y el polietileno (PE). El primero es un polímero termoplástico de cadena larga.

Se utiliza normalmente en forma isotáctica estereorregular en la que los monómeros de propileno están unidos en la modalidad de cabeza y cola y los grupos metilo están alineados en el mismo lado del núcleo del polímero. El PP tiene una estructura semicristalina que le proporciona una alta rigidez, buenas propiedades a la tracción y resistencia a los ácidos, a los álcalis y a la mayoría de disolventes.

La posibilidad de que el carbón terciario pueda reaccionar con radicales libres, obliga a añadir estabilizadores para evitar la oxidación durante la fabricación y mejorar, generalmente, la durabilidad a largo plazo, incluyendo la estabilidad a los agentes climáticos.

El polietileno es uno de los polímeros orgánicos más sencillos. Se utiliza en su forma de baja densidad (PEBD), que es conocida por su excelente flexibilidad, facilidad de manipulación y buenas propiedades físicas, o como polietileno de alta densidad (PEAD), que es más rígido y resistente químicamente. El PE puede estabilizarse para aumentar su resistencia a los agentes climáticos. Sus características más importantes son las siguientes: Son fácilmente inflamables, produciendo humo negro y olor a cera, poca resistencia a fluencia, gran deformación en rotura.

- **Poliamidas:** Las poliamidas (PA) o nilones son termoplásticos procesables fundidos que contienen un grupo amida como parte repetitiva de la cadena.

Las poliamidas ofrecen una combinación de propiedades que incluyen una alta resistencia a temperaturas elevadas, ductilidad, una buena resistencia a la abrasión y al desgaste, bajas propiedades friccionales, una baja permeabilidad a los gases e hidrocarburos y una buena resistencia química.

Sus limitaciones incluyen una tendencia a absorber humedad, con el resultado de la producción de cambios en las propiedades mecánicas y dimensionales y una resistencia limitada a los ácidos y a los agentes climáticos.

Sus características más importantes son las siguientes: hidrolizables, es decir, pierden hasta un 30% de resistencia a tracción tras permanecer en agua, presentan buen comportamiento a fluencia.

- **Poliésteres:** Son un grupo de polímeros. El tipo empleado con más frecuencia en geotextiles es el polietiléntereftalato (PET) que es un polímero de condensación de un ácido dibásico y un dialcohol. Puesto que se utiliza por debajo de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ), el PET ofrece buenas propiedades mecánicas, incluyendo una baja razón de deformación por fluencia y buena resistencia química a la mayoría de ácidos y a muchos disolventes. El grupo éster, importante enlace polimérico, puede ser hidrolizado muy lentamente en presencia de agua produciéndose un ataque más rápido bajo condiciones fuertemente alcalinas.

	PP	PEAD	PA	PET
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,91	0,95	1,12	1,38
Temperatura de fusión (* C)	165	130	220 a 250	260
Temperatura de transición vítrea (* C)	-20 a -12	-100 a -70	40 a 60	70 a 80

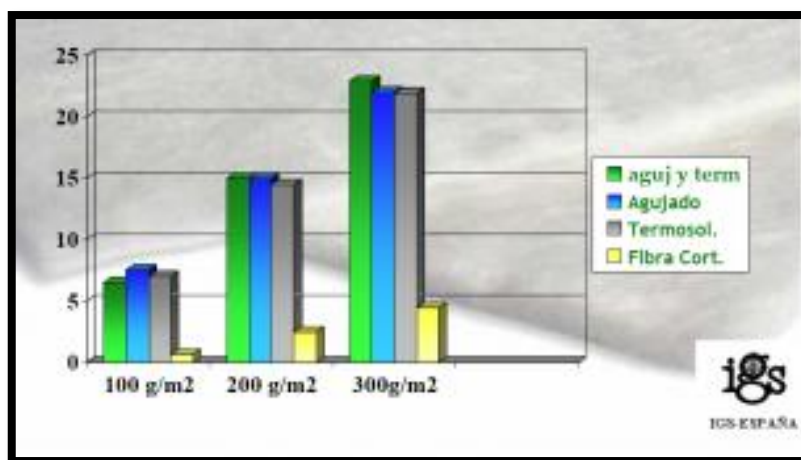
(2017, Cali, Colombia) *Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles* [imagen9]

#### 2.2.1.4. Clasificación según la presentación del polímero

- **Geo textil de fibras cortas:** El polímero para fabricar el geo textil se presenta en forma de pequeñas fibras cortadas de una longitud entre 2 y 15 centímetros. Las técnicas de unión de las fibras son las ya comentadas anteriormente: mecánica (mediante agujado), térmica (mediante calor más presión) y química (mediante resina).
- **Geo textil de filamento continuo:** El polímero para fabricar el geo textil se presenta en forma de rollos de filamento continuo. Las técnicas de unión de los filamentos son, al igual que las fibras cortas, las siguientes: mecánica (mediante agujado), térmica (mediante calor más presión) y química (mediante resina).

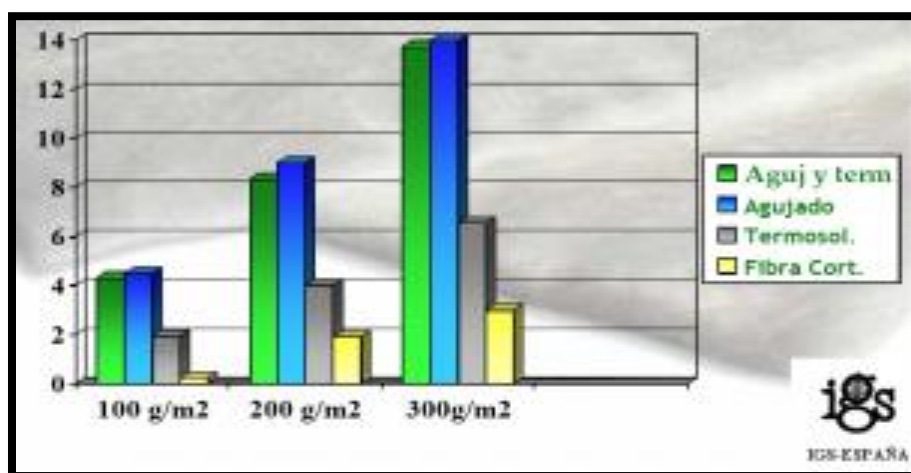
### 2.3. Comparativo de geo textiles según criterio norma ISO

#### 2.3.1. Comparativo geo textiles no tejidos resistencia a tracción, en ISO 10319 (kn/m).



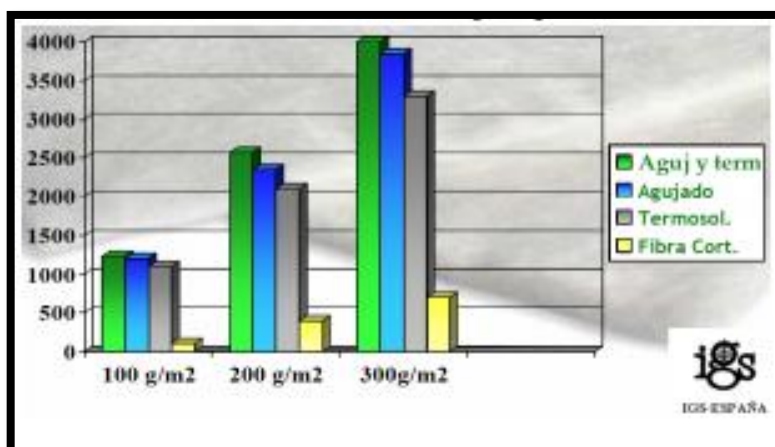
(2015, Bogotá, Colombia) *Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles*  
[imagen10]

#### 2.3.2. Comparativo geo textiles no tejidos resistencia de rotura (factor e).



(2015, Bogotá, Colombia) *Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles*  
[imagen11]

### 2.3.3. Comparativo geo textiles no tejidos resistencia cbr a perforación, en iso 12236 (n)



(2015, Bogotá, Colombia) *Propiedades físicas de los polímeros utilizados en geotextiles* [imagen12]

## 2.4. ENSAYO PRUEBA DE PLACA

Para realizar en ensayo prueba de placa recurrimos a la norma I.N.V 168, la prueba de placa tiene como objeto aplicar carga normal sobre la superficie de subrasante, capas de granulares y pavimento en estado natural para proporcionar los respectivos datos a emplear en el diseño y la evaluación de pavimentos flexibles.

Para entrar a describir el ensayo en detalle se debe de tener claro ciertas definiciones:

**Deformación:** Magnitud del movimiento hacia debajo de una superficie por la aplicación de una carga sobre la misma

**Deformación residual:** diferencia entre alturas original y final de una superficie como consecuencia de la aplicación y remoción de una o más cargas desde a superficie de la misma.

**Deformación de rebote:** es la cantidad del rebote vertical de una superficie, sucedido cuando se remueve una carga de la misma.

Para realizar en ensayo prueba de placa según la norma de invias empleamos un dispositivo de carga (volqueta) con un marco de anclaje y separación de las ruedas de al menos 2.4m de la placa de apoyo de mayor diámetro

La carga al suelo se aplica con un sistema de gatos hidráulicos, los cuales reaccionan con una viga sujeta a un sistema de anclaje o empotramiento, o un peso muerto. Los registros de deflexión los obtuvimos con diales indicadores de deformación.



Una vez dispuesto la carga completamente se asienta el gato y el conjunto mediante la rápida aplicación de una carga que produce una deflexión entre 0.25mm y 0.5mm. Luego se ejerce presión al gato y periódicamente se toma la deformación encontrada hasta que se alcanza la carga del dispositivo I.N.V. E- 168 (ítem 3 equipos).

Posterior a eso va el procedimiento de carga, que consiste en el incremento gradual de la carga manteniéndola hasta el punto que la deformación sea menor a 0.02mm por minuto. Después de obtener la gráfica de deflexión contra carga con los dispositivos de reacción se calcula la deflexión promedio.

Los ensayos de placa de carga permiten determinar las características resistencia-deformación de un terreno. El resultado del ensayo se representa en un diagrama tensión deformación, este se realiza según la I.N.V. E- 168 (ítem 4 de procedimiento).

Todos estos valores están supeditados a las respectivas correcciones por saturación, consolidación de las 2 muestras y la dependencia de si se realizó el ensayo en material cohesivo de la subrasante o sobre una capa de material base granular, para la construcción de la capa subrasante se utilizan comúnmente materiales de banco con las características adecuadas para cumplir las funciones que tendrán en la estructura vial.

A partir de este ensayo se pueden obtener numerosos datos entre los que se destacan:

Obtención de la capacidad de carga del suelo para un asentamiento determinado,

Determinación del módulo de reacción o coeficiente de Balasto (K),

Obtención del coeficiente de elasticidad del suelo (E).

Determinación de las características de la curva *carga vs deformación* del suelo.

$$K=P/V$$

P = Presión aplicada en kg/cm<sup>2</sup>.

v = Deflexión de la placa en cm.

K = Módulo de reacción.

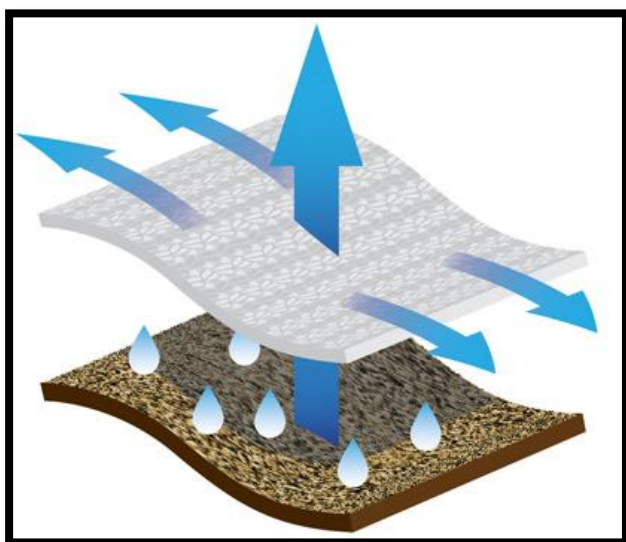
La información proporcionada se emplea en la evaluación y diseño de pavimentos y aplica tanto a suelos en estado natural como compactados.



Aravena R. y Kramer P. (1984) *Equipo de reacción* [imagen14] Recuperado de <http://icc.ucv.cl/geotecnia>

Módulo de reacción: Es la presión que se transmite a la placa para producir al suelo una deformación determinada.

Deflexión elástica. Es la deformación recuperable instantánea que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie. En el caso particular de pavimentos se caracteriza por presentar alto desempeño mecánico e hidráulico. (González, 2016).



Geomatrix (2016) *Evacuación de agua* [Imagen15]. Recuperado de [http://www. Geomatrix.co](http://www.Geomatrix.co)

Geomatrix (2016) *Fortex* [Imagen16]. Recuperado de <http://www. Geomatrix.co>

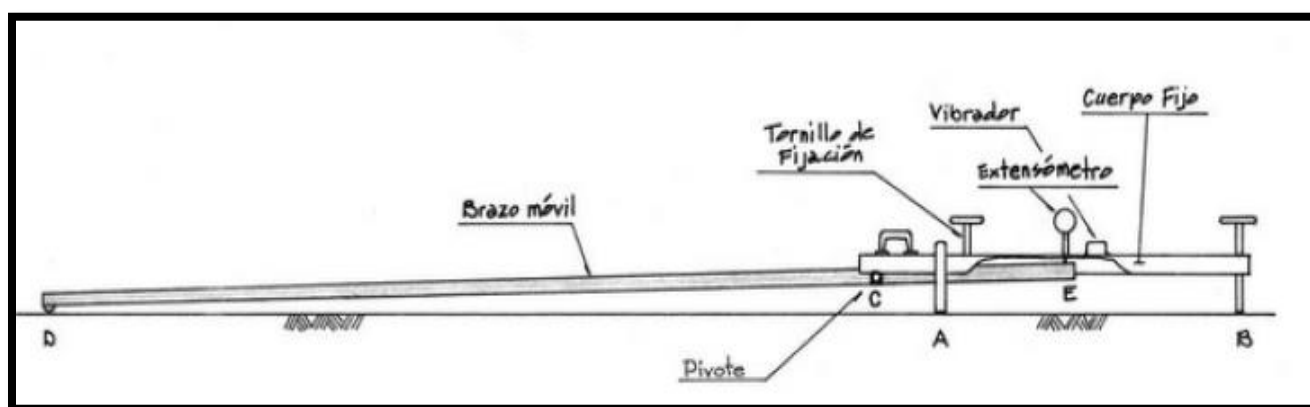
## 2.5. ENSAYO DE VIGA BENKELMAN

El ensayo permite determinar la deflexión vertical y puntual de una superficie del pavimento bajo la acción de una carga normalizada, transmitida por medio de ruedas gemelas de un eje simple tipo.

Deflexión elástica recuperable para el ensayo de viga Benkelman ( $d_e$ ) – Es la diferencia entre la deflexión total y la deflexión remanente:

$$d_t = d_e + d_r$$

*Pero este concepto se aplica a la modelación de estructuras de pavimento mediante retro cálculo.*



F. de Ingeniería (s.f.) *Equipo para ensayo Viga Benkelman*. [imagen17]. Recuperado de <http://ingenieriaReal>

El deflectómetro Benkelman funciona según el principio de la palanca. Es un instrumento completamente mecánico y de diseño simple. Según se esquematiza en la figura, la viga consta esencialmente de 2 partes : (1) un cuerpo de sostén que se sitúa directamente sobre el terreno, mediante 3 apoyos (dos delanteros fijos "A" y uno trasero regulable "B") y (2) un brazo regulable móvil acoplado al cuerpo fijo mediante una articulación de giro o pivote "C", uno de los cuyos extremos apoya sobre el terreno (punto D) y el otro se encuentra en contacto sensible con el vástago de un extensómetro de movimiento vertical (punto E).

Adicionalmente el equipo posee un vibrador incorporado que al ser accionado, durante la realización de los ensayos, evita que el dial se trabe y/o que cualquier interferencia exterior afecte las lecturas. El extremo "D" o Punta de la Viga es de espesor tal que pueda ser colocado entre una de las llantas dobles del eje trasero de un camión cargado.

Por el peso aplicado se produce una deformación del pavimento, consecuencia de lo cual la punta baja una cierta cantidad, con respecto al nivel descargado de la superficie. Como efecto de dicha acción el brazo DE gira en torno al punto "C", con respecto al cuerpo AB, determinado que el extremo "E" produzca un movimiento vertical en el vástago del extensómetro apoyado en él, generando así una lectura en el dial indicador. Si se retiran luego las llantas cargadas, el punto

"D" se recupera en lo que la deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior se genera otra lectura en el dial del extensómetro.

La operación expuesta representa el "principio de medición" con la Viga Benkelman. Lo que se hace después son solo cálculos en base a los datos recogidos. Así, con las dos lecturas obtenidas es posible determinar cuánto deflectó el pavimento en el lugar subyacente al punto "D" de la viga, durante el procedimiento descrito.

Es de anotar que en realidad lo que se mide es la recuperación del punto "D" al remover la carga "Rebote elástico" y no la deformación al colocar esta. Para calcular la deflexión deberá considerarse la geometría de la viga, toda vez que los valores dados por el extensómetro (EE') no están en escala real sino que dependen de la relación de brazos existente.

Es de gran ayuda y facilidad que el laboratorio de suelos de la universidad del valle cuenta con el equipo para ser ambos ensayos y el equipo necesario normalizado para el ya mencionado de viga Benkelman es:

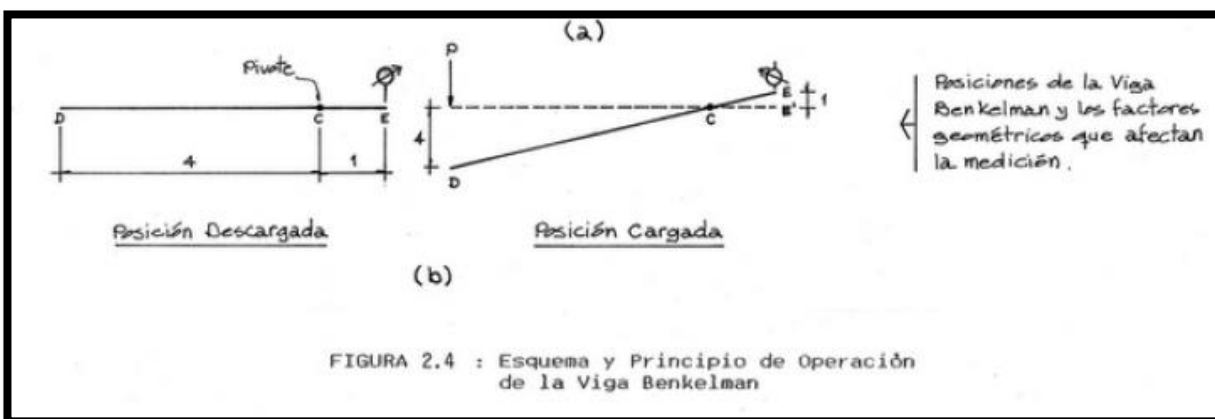
**Bastidor:** Viga con tres pies de apoyos sobre el suelo que sirve de sustentación a la palanca de medida y de soporte al comprador o dial medidor.

**Palanca de medida:** De 3.6 m de longitud. Se suspende al bastidor con un eje (3) que la divide en dos partes con relación 2:1.

**Suspensión:** Un eje, punto de apoyo de la palanca, suspendido en dos rodamientos a bolas, estancos al polvo y solidarios al bastidor.

**Puntos de apoyo:** Son tres pies solidarios al bastidor, con regulación de su altura mediante tornillo; los dos anteriores están situados simétricamente con respecto al eje longitudinal de la viga a 170 mm del mismo y separados del posterior, situado en el extremo del batidor, 1208 mm.

Al ya haber caracterizado los materiales del pavimento y realizado el ensayo nos arrojará las deflexiones correspondientes para el cálculo del radio y espesor de la curvatura.

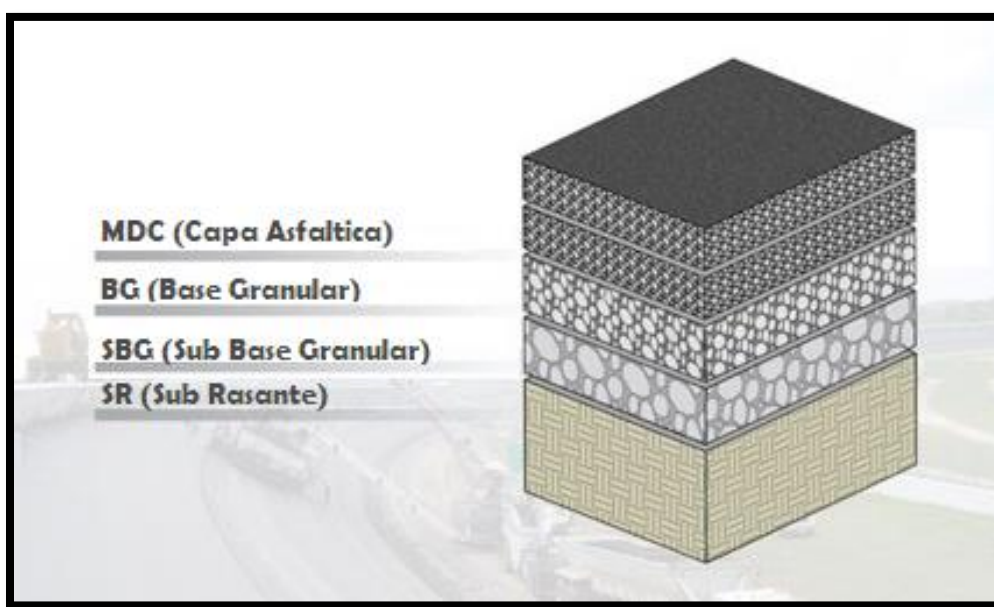


## 2.6. PAVIMENTO:

**DEFINICIÓN Y TIPOS:** Un pavimento se define como una estructura vial, formada por una o varias capas de materiales seleccionados, el cual se construye sobre la subrasante, y que se debe caracterizar por presentar las siguientes condiciones:

- Resistir las cargas impuestas por el tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación o de apoyo, los esfuerzos y las deformaciones en magnitudes tolerables.
- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, con comodidad, economía y seguridad.
- Ser una estructura durable y presentar una textura y regularidad adecuada para el tráfico vehicular.

Junto con las características geométricas de la vía referidas a la planta, perfil y sección transversal, los materiales de la estructura de pavimento deben efectuar un drenaje rápido y eficiente, eliminando problemas de humedad como encharcamientos y la presencia de lodos sobre la calzada. (Guerrero D., 2017)



(s.f.) *Capas de un pavimento flexible* [imagen18]. Recuperado de <http://www.skyscrapercity.com>

### 2.6.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES:

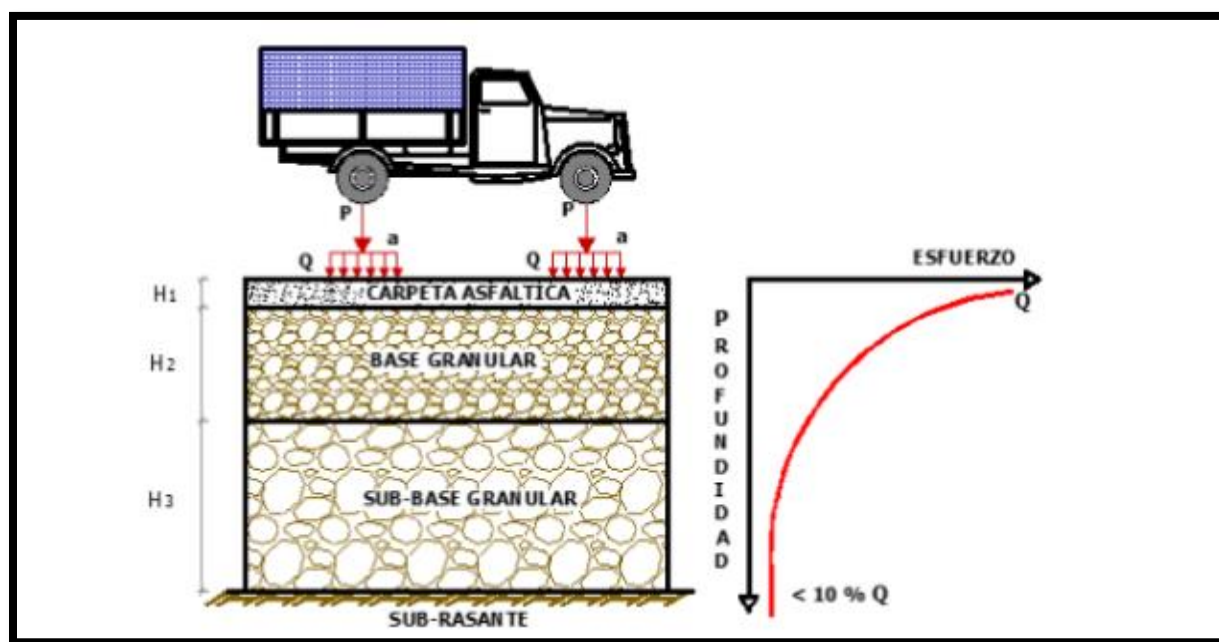
Este tipo de pavimento está caracterizado por tener como capa de rodadura una material de matriz bituminosa, apoyado sobre una o varias capas de menor calidad (comúnmente bases y subbases), las cuales transmiten los esfuerzos y las deformaciones al terreno de soporte,

mediante un mecanismo de disipación de tensiones. Estos esfuerzos transmitidos, disminuyen su magnitud respectiva con la profundidad.

Estos pavimentos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico, como calles, parques de estacionamiento, veredas, entre otros. (Canal Construcción, 2015).

Las estructuras de pavimentos flexibles a su vez, se pueden clasificar en los siguientes tipos según su configuración a saber:

**Pavimentos Flexibles Convencionales** Estos tipos de pavimentos flexibles están compuestos por una capa delgada de material asfáltico en caliente, sobre una serie de capas no tratadas de base y subbase. La siguiente figura muestra una estructura típica de este tipo de pavimento, junto con su mecanismo de disipación de esfuerzos.



Guerrero D. (2017) *Sección transversal típica constituida de pavimento flexible* [imagen19].  
Anteproyecto de maestría.

**Pavimentos Semiflexibles o de Rigidez Profunda** Este tipo de pavimento flexible consta de una capa gruesa de material asfáltico en caliente, apoyada sobre capas de granulares no tratados de base y subbase.

**Pavimentos Semirrígidos** Consiste en una capa de rodadura de material asfáltico en caliente apoyada directamente sobre un estrato estabilizado químicamente, y bajo esta, capas de materiales granulares no tratados de base o/y subbase.

Pavimentos Flexibles de Profundidad Completa Es una estructura de pavimento flexible compuesta solamente por una capa de rodadura de material asfáltico en caliente y bases estabilizadas del mismo material, apoyadas directamente sobre el suelo de subrasante.

En general, las estructuras de pavimento flexible, presentan las siguientes particularidades:

- Las capas de materiales granulares no tratados, se colocan con el objetivo de disminuir el espesor de la carpeta asfáltica y materiales de mejor calidad.

- Las magnitudes normales para los módulos elásticos de las capas de esta clase de estructuras, están alrededor de:

- Carpeta Asfáltica de 10.000 a 25.000 Kg/cm<sup>2</sup> dependiendo de la temperatura de trabajo y la frecuencia de aplicación de las cargas.

Los valores típicos para mezclas asfálticas convencionales para las condiciones de operación de la ciudad de Cali oscilan entre 12.000 a 15.000 Kg/cm<sup>2</sup>.

- Base Granular de 2.000 Kg/cm<sup>2</sup> a 5.000 Kg/cm<sup>2</sup>

- Sub-base granular de 1.000 Kg/cm<sup>2</sup> a 3.000 Kg/cm<sup>2</sup>

De acuerdo con el Código Nacional de Tránsito, las vías en Colombia se dividen en dos categorías: las que se ubican dentro del perímetro urbano y las que se encuentran en zonas rurales.

Vías que hacen parte de las zonas rurales:

- Autopistas: Cuentan con dos o más carriles y están diseñadas para la movilización masiva de automóviles, buses y vehículos de carga.
- Carreteras principales: Son las que permiten la entrada y salida de vehículos y conectan con otras vías más pequeñas.
- Carreteras secundarias: Representan alternativas de movilidad que, en comparación con las carreteras principales, pueden no ser tan rápidas o fáciles de recorrer.
- Carreteables: Son las vías que, a pesar de no estar pavimentadas, permiten la circulación de vehículos.
- Privadas: Son vías destinadas al uso particular.
- Peatonales: Zonas destinadas exclusivamente al tránsito de peatones.

Vías que hacen parte de las zonas urbanas:

Las zonas urbanas también cuentan con las vías férreas, autopistas, vías privadas y vías peatonales detalladas previamente. Adicionalmente, se encuentran también los siguientes tipos de vías:

- Vía troncal: Vía de ocho o más carriles que permite la circulación de vehículos de servicio público masivo en sus calzadas interiores.
- Arterias: Tienen prioridad sobre las demás vías, a excepción de las vías férreas y las autopistas.
- Principales: Son las vías que tienen prelación sobre las vías secundarias.
- Secundarias: Son aquellas vías cuyo tránsito lleva a las vías principales.
- Colectoras: Son las encargadas de distribuir el tránsito entre la vivienda y los sitios de trabajo.
- Ordinarias: Aquellas vías que están sujetas al tránsito en las vías principales.
- Locales: Tienen la función primordial de brindar accesibilidad a barrios y soportan tráfico de corta distancia.
- Metrovías: Son las que se usan de manera exclusiva para la circulación del metro.

**Geo Textil Tejido:** Fibras entretejidas sustitutas de los materiales naturales, que se fabrican a partir de polímeros sintéticos y que se utilizan para mejorar las características de los suelos, haciendo posible la ejecución de proyectos de infraestructura de una manera más costo eficiente y ecológica. (Geomatrix, 2016).

1. Los valores de las propiedades de esta especificación son vigentes a partir de Agosto de 2011 y están sujetos a modificaciones sin previo aviso.
2. Los valores publicados corresponden al sentido más desfavorable del Geo textil. Los Valores típicos corresponden al promedio de todos los datos históricos obtenidos en laboratorio.

El siguiente es la especificación del geotextil usado en la vía del barrio 1 de mayo con dirección cra 57 entre calles 13 ( avenida paso ancho) y la calle 13b:



	PROPIEDAD	NORMA	UNIDAD	VALOR TÍPICO <sup>2</sup>
MECANICAS	Método grab			
	Resistencia a la tensión	ASTM D4632	N (lb)	1519 (340)
	Elongación		%	17
	Método tira ancha			
	Sentido longitudinal	ASTM D4595	kN/m	42
	Elongación		%	21
	Sentido transversal		kN/m	43
	elongación		%	15
	Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833	N (lb)	680 (153)
	Resistencia al punzonamiento CBR	ASTM D6241	kN	5.5
HIDRAULICAS	Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	N (lb)	520(117)
	Método Mullen Burst			
	Resistencia al estallido	ASTM D3786	Kpa (psi)	4653 (675)
	Tamaño de abertura aparente	ASTM D4751	mm(NoTamiz)	0.425(40)
FISICAS	Permeabilidad	ASTM D4491	cm/s	$5.3 \times 10^{-2}$
	Permitividad	ASTM D4491	s <sup>-1</sup>	0.55
	Tasa de flujo	ASTM D4499	L/min/m <sup>2</sup>	1506
	Espesor	ASTM D5199	mm	1.0
	Resistencia UV (% retenido @ 500 hr)	ASTM D4355	%	>70
	Rollo Ancho	Medido	m	3.85
	Longitud	Medido	m	120
	Rollo Area	Calculado	m <sup>2</sup>	462

(2017, Cali) *Especificación internacional geo textil sintético tejido T2400* [tabla3]  
 recuperada de: [www.aconstructoras.com](http://www.aconstructoras.com) › Catálogo › Muro › Suelo reforzado › 2400

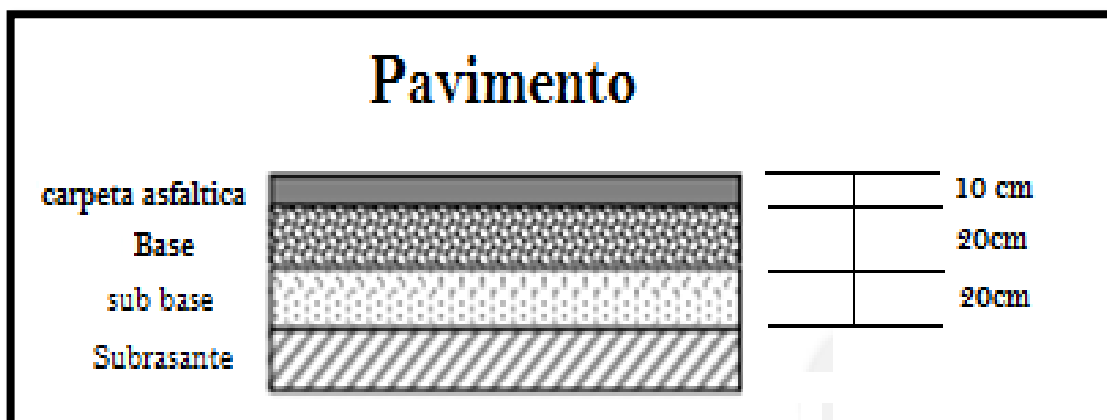
## 2.7. UBICACIÓN DEL PROYECTO



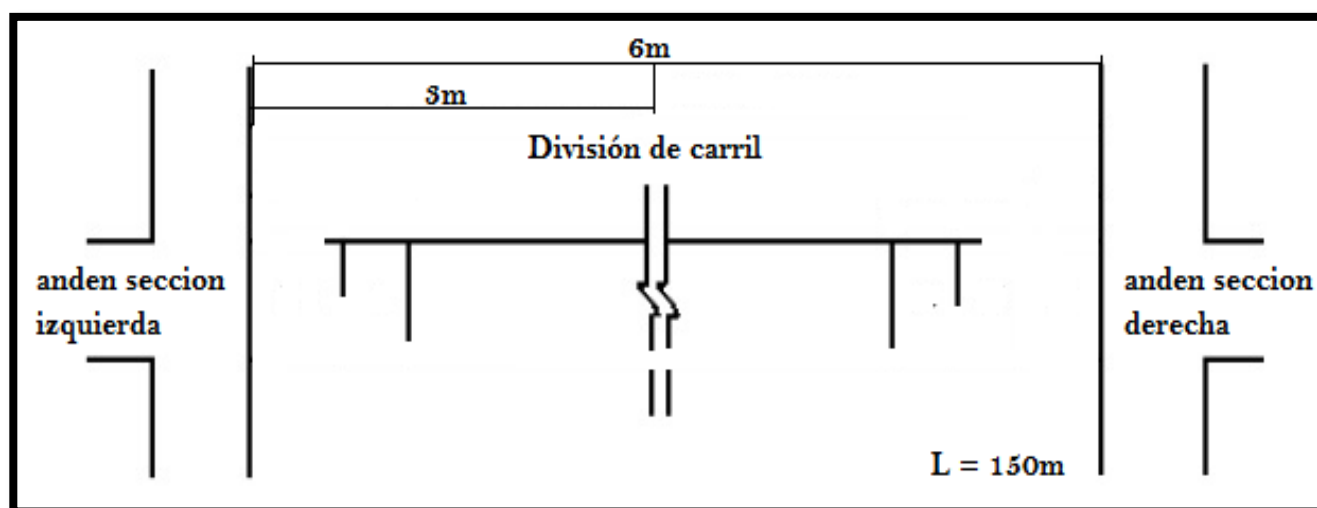
(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en la cra 57 con calle 13 Cali [imagen20]. Recuperado de <http://google/maps>

## 3. METODOLOGÍA

- 3.1. **Etapa 1.** Etapa de Caracterización: tiene como objeto determinar las propiedades físicas y estructurales del pavimento, y se reporta todo lo relacionado a condiciones in situ del terreno o algún otro aspecto que pueda generar errores en la etapa siguiente, también se concluye de esta etapa si se deben realizar ensayos de campo adicionales.
- Actividad: Recolección y organización de los materiales utilizados en la construcción del pavimento a ensayar con el uso del geo textil y sin el uso del geo sintético tejido ubicado entre la carpeta asfáltica y la subrasante.
  - Producto: Base de datos con caracterización específica y condiciones del terreno a ensayar, materiales para elaboración de ensayos.
  - En nuestro caso particular la base y sub base de la vía tienen 20cm de espesor cada una y 10 cm de carpeta asfáltica culminan el diseño de la vía.



(2017, Cali) *Capas del pavimento para proyecto del barrio 1 de mayo en la cra 57 con calle 13*  
*espesores establecidos de capas de pavimento [Dibujo]. Pablo Lasso*



(2017, Cali) *Vista en planta sección vía proyecto del barrio 1 de mayo en la cra 57 con calle 13.*  
 [Dibujo]. Pablo Lasso

La vía en el proyecto de 1 de Mayo tiene como función el acceso a una unidad residencial que conecta a las calle 13 por lo que se considera una vía local de doble sentido según el Código nacional de tránsito.

En primera instancia se hizo un seguimiento exhaustivo de la adecuación del terreno, levantamiento de carpeta vieja existente y deteriorada junto con sus respectivas capas granulares hasta dejar al descubierto la sub rasante en una profundidad de 60 cm, esta profundidad en comparación con la establecida por la interventoría tuvo una sobre excavación de 10 cm que fue rellenado y autorizado por la secretaria de infraestructura para proseguir con la obra.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali cra 57 con calle 13(vista lateral); [imagen21]. Tomada por Pablo Lasso



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali cra 57con calle 13 (sentido frontal), [imagen22]. Tomada por Pablo Lasso



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali cra 57 con calle 13(vista longitudinal). [imagen23].  
Tomada por Pablo Lasso

Es un Geo textil Tejido de polipropileno, conformado por un sistema de cintas planas, tejidas entre sí. Este Geo textil se produce en una planta bajo un Sistema de Gestión de Calidad de acuerdo con los requerimientos y normas de Calidad de geomatrix. Es altamente resistente a la degradación biológica y química, que normalmente se encuentra en los suelos.

Se ubicó el geotextiles con estacas de madera de 15 a 20 cm que colindaban con los bordes de la vía, para que no se moviera o desubicara con el viento, este viene en rollos de 100m y ancho 3,85 metros por lo que se ubicaron dos rollos en todo el ancho de la vía en doble sentido y se traslaparon en el medio aproximadamente 20 cm y a lo largo aproximadamente 1 metro cumpliendo con los requisitos del artículo 232 – 13 sobre la estabilización de suelos de sub rasante con geo textil, para la condición final de rollo .

Se intentó que al ubicar el geo textil inmediatamente se trajera el material de sub base para que no hubiera perdida del primer material nombrado.





(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (colocación de geo textil en vía)  
[imagen24]. Tomada por Pablo Lasso



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (estacas para ubicación del geo  
textil). [imagen25]. Tomada por Pablo Lasso





(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (material granular de sub base).  
[imagen26]. Tomada por Pablo Lasso





*(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (sub rasante, geo textil extendido y material de sub base). [imagen27]. Tomada por Pablo Lasso*

Posterior al cercamiento los contratista iniciaron la descarga de materiales en la vía, se llenó de material de sub base para nivelar cotas topográficas establecidas; la función de la sub-base es soportar las cargas que transmite el pavimento y darle sustentación, además de considerarse la cimentación del pavimento.





(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (sub rasante, geo textil extendido y material de sub base). [imagen28]. Tomada por Pablo Lasso



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (sub rasante en perfil). [imagen29].  
Tomada por Pablo Lasso

El material para la capa de base es roca previamente seleccionada de variedad de diámetros, se iba a cubrir un espesor de 20 cm de base por lo que se dio aproximadamente 200 metros cúbicos de material para la longitud de la vía en algunos casos se deberán aplicar tratamientos previos y estos podrán ser: trituración y en algunas ocasiones se les estabiliza en planta con cemento o con cal para darle mayor resistencia. Estos materiales son llevados a la obra, donde se juntan para poder llevar a cabo el cálculo del volumen y ver si existe algún faltante.

Cuando el material de banco tiene cierta humedad, ésta se calcula para saber si estamos por debajo o por encima de la humedad óptima de compactación, con ello logramos saber qué cantidad de agua debemos adicionarle, o bien, voltear el material para que por evaporación pierda el agua sobrante. El material juntado se abre parcialmente y se humedece con una cantidad de agua cercana a la óptima, el agua no se riega de una sola vez, sino que, se distribuye en varias pasadas, se hace un primer riego y la moto-niveladora abre una nueva cantidad de material, el cual se coloca sobre el húmedo para que vuelva a pasar la moto niveladora; esto se hace comúnmente en tres etapas, para después con la misma maquinaria, homogenizar la humedad. Cuando se llega a esto se distribuye el material en toda la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, debiendo cuidar que no se separe el material fino del grueso. Ya extendido se compacta hasta alcanzar el grado de compactación que marca el proyecto.



Cuando en las bases se alcanza la compactación exigida en el proyecto, ésta se deja secar superficialmente, se barre para retirar basura y partículas sueltas. Después de esto se le aplica un riego de emulsión asfáltica de curado lento (imprimación). Este elemento sirve para impermeabilizar y estabilizar la base y le ayudará a protegerla de la intemperie cuando no se va a colocar una carpeta en poco tiempo, además favorece la adherencia entre la base y la futura carpeta.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (sub rasante borde de perfil).  
[imagen30]. Tomada por Pablo Lasso



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (sub rasante). [imagen31]. Tomada por Pablo Lasso

#### 3.1.1. Concreto Asfáltico

Los concretos asfálticos constituyen la clase superior de los pavimentos bituminoso, dicho esto el concreto asfáltico mezclado en vía, consiste en 2 capas compactadas de una mezcla de agregados minerales, asfalto líquido, producido en la vía por medio de plantas viajeras, motoniveladoras, arados agrícolas Este tipo de concreto asfáltico se puede emplear como capa de rodamiento para tráfico liviano y mediano, como base de pavimentos flexibles para tráficos mediano y pesado o como capa intermedia.

El concreto asfáltico se compone de una mezcla de agregados gradados y asfalto, realizada a una temperatura aproximada de 150°C colocada y compactada en caliente. Las plantas para la producción de mezclas en caliente se construyen de tal manera que, después de calentar y secar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los

recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportados, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después de lo cual se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva alta.

En el capítulo 4 de pavimentos asfálticos en el artículo 450.1 – 13 sobre las mezclas asfálticas en caliente de gradación continua (concreto asfáltico) el tipo usado en la vía de 1 de mayo fue una mezcla densa de denominación MDC.

**Tabla 450 - 1. Tipos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua**

TIPO	DENOMINACIÓN
<b>POR TIPO DE GRANULOMETRÍA</b>	
- Mezclas densas	MDC

Al igual que en el artículo 450 – 2 sobre el tipo de capa asfáltica usado en la vía de 1 de mayo fue de rodadura con espesor mayor de 60mm al tratarse de dos capas ( superior de rodadura).

En base a la tabla 450- 3 sobre los requisitos de mezclas asfálticas en caliente de gradación continua: La dureza del agregado grueso máxima en base a su nivel de tránsito es del 25% para la capa de rodadura, durabilidad del 18%, porcentaje de impurezas del mismo permitido es del 0.5% equivalente en arena mínimo es del 50% y geometría de las partículas planas y alargadas del 10% .

Como características de la proporción de llenante mineral de aporte en la capa de rodadura es que es menor al 25% y la proporción de arena natural de la masa total del agregado fino es menor al 50% (I.N.V. 450 – 4), la granulometría es la siguiente:

<b>Granulometría del llenante mineral de aporte:</b> - % que pasa tamiz 425 $\mu$ m (No. 40) - % que pasa tamiz 150 $\mu$ m (No. 100) - % que pasa tamiz 75 $\mu$ m (No. 200)	E -215	100 > 90 > 75
--	--------	---------------------

(I.N.V. 450 – 4), *Granulometría de material cra 57 con calle 13 en Cali* (Tabla).

**Tabla 450 - 7. Tipo de mezcla por utilizar en función del tipo y espesor compacto de la capa**

TIPO DE CAPA	ESPESOR COMPACTO (mm)	TIPO DE MEZCLA
Rodadura	30 – 40	MDC-10
	40 – 60	MDC-19, MSC-19
	> 60	MDC-25, MDC-19, MSC-19
Intermedia	> 50	MDC-25, MSC-25
Base	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25
Alto módulo	60 - 130	MAM-25
Bacheos	50 – 75	MSC-25, MGC-25
	> 75	MSC-25, MGC-38, MGC-25

(I.N.V. 450 – 7), *Tipo de capa* (Tabla).



Por tanto el tipo de mezcla a usar es MDC-25 ó MSC-25, por la tabla 450-7 de los tipos de mezcla en función del tipo de capa.

TIPO DE CAPA	TEMPERATURA MEDIA ANUAL		
	> 24	15-24	< 15
Rodadura e Intermedia	60-70	60-70 u 80-100	80-100

(I.N.V. 450 – 7), *Temperatura del asfalto por emplear en mezclas asfálticas en caliente de gradación continua para rodadura. (Tabla).*



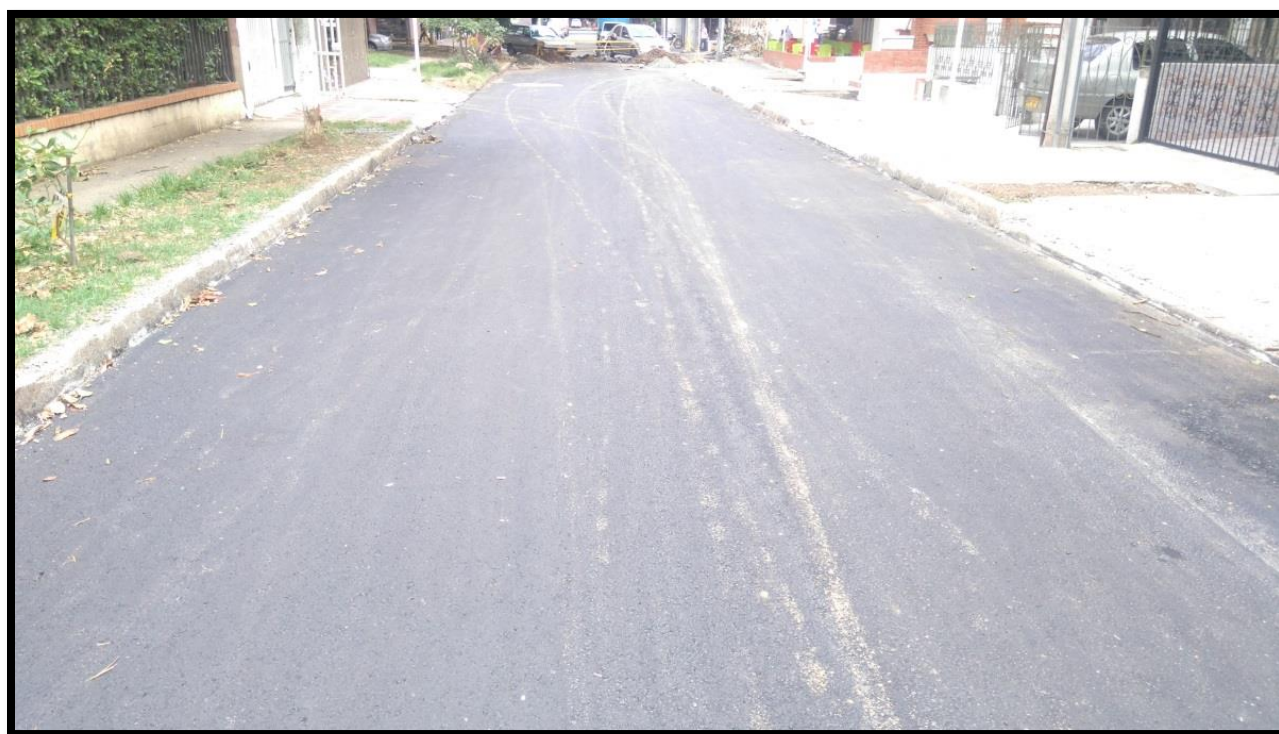
(s.f.) *Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (carpeta asfáltica) [imagen30].*  
Tomada por Pablo Lasso

El objetivo es obtener una película de asfalto residual delgado y uniforme cuando la emulsión rompa. Una capa de adherencia en exceso puede crear un plano de deslizamiento entre las dos capas de pavimento ya que el asfalto actúa más bien como un lubricante en lugar de un adherente. Puede crear en la superficie del nuevo pavimento áreas blandas o de "sangrado", condiciones que no solamente son invisibles sino que producen pavimentos peligrosamente estabilizados.

La compactación con rodillo de neumático de las áreas irregulares de la capa de adherencia, facilitará la distribución de asfalto para un mejor cubrimiento. También ayudará a reducir la probabilidad de áreas blandas.

Luego de riego de adherencia, se debe permitir el tiempo suficiente para que la emulsión rompa totalmente antes de colocar la capa siguiente. El tráfico se debe mantener fuera del área regada. Si esto no es posible, los vehículos deben de controlar su velocidad a 30 Km/h.

El área recién regada del pavimento es muy resbaladiza y no se puede tener un manejo seguro si se permiten velocidades elevadas, especialmente antes de que la emulsión rompa.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali (carpeta asfáltica). [imagen33].  
Tomada por Pablo Lasso

### 3.1.2. Imprimación:

Una capa de imprimación es una aplicación de asfalto de baja viscosidad a una base granular que se prepara para la colocación de una capa asfáltica. La capa de imprimación está diseñada para cumplir varias funciones:

- Cubrir y darle adherencia a las partículas sueltas de la superficie de la base.
- Endurecer la superficie.
- Impermeabilizar la superficie de la base.
- Sellar los vacíos capilares.
- Proveer adherencia entre la base y la capa siguiente.

Con el fin de que la imprimación satisfaga éstos criterios, éste debe de penetrar poco en la base.

Ellos colocan la primera capa sin imprimación. Solo cuando la base es dejada por un período largo (como en los meses de invierno), o cuando se someten a las fuerzas abrasivas del tráfico es cuando se utiliza.

Por otra parte la mayoría de los ingenieros creen que la relación costo / beneficio de una capa de imprimación está sujeta a serios cuestionamientos. En todo caso esta decisión se debe de resumir diciendo, "en caso de duda, use imprimación".

En general la cantidad a ser usada depende de la naturaleza de la base granular y de las condiciones del tiempo. La granulometría del agregado, el tamaño de los vacíos, y la absorción del agregado todos los afectan.. Si una vez rota la emulsiones encuentra un exceso de está en la superficie se puede regar un poco de polvo de arena para absorber el material sobrante.





(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali [imagen32]. Tomada por Pablo Lasso

Una vez terminado el proceso de pavimentación, imprimación y el cuidado respectivo que se tuvo a la hora de la construcción de la obra de 1 de mayo, trataremos los ensayos y los puntos de comparación que abarcamos en este proyecto de grado como son las deflexiones y el K que calcularemos mediante los ensayos de viga Benkelman y prueba de placa.

#### 4. METODOLOGIA

4.1. **Etapa 2.** Etapa Práctica: Se inician los ensayos en campo, en ambas estructuras ya mencionadas para obtener el módulo de reacción correspondiente.

- Actividad: realización de la prueba de placa, viga Benkelman, humedad, consolidación.
- Producto: Grafica Carga vs Deflexión, módulo de reacción de los pavimentos, porcentajes de humedad, cálculo del radio y espesor de la curvatura.

##### 4.1.1. Prueba de placa

Para los ensayos de prueba de placa se tuvo en cuenta que se realizaron en el pavimento como en capa de base para un tramo con el geo textil y para un tramo sin el geo textil por lo que se tienen varios resultados del ensayo:

Se obtuvo durante un tiempo prudencial una volqueta para realizar los ensayos, todo acobijado según la norma I.N.V. E – 168 para realizar el ensayo de placa con carga estática no repetitiva

Se realizó el ensayo de prueba de placa dos veces, el primero en la base de la vía (capa que corresponde entre la subbase y la carpeta asfáltica) y en la carpeta asfáltica ya finalizada (última capa de la vía) para saber la variación entre capas.

Se asentó el sistema de carga y la aplaca de soporte para aplicar una carga inicial, después se mantiene la carga hasta que los diales micrométricos de medición estén en cero y se aplica cíclicamente la carga de asentamiento.

En base a los datos obtenidos se calcula el valor de  $K_u$  (módulo de reacción de la subrasante sin corregir); si aquel valor es menor de 200, se considera concluido el ensayo y se debe quitar la carga pero si es mayor a 200 se aplica una carga adicional de 1605kg o 34,47 kpa hasta que se alcance una carga total de 9630kg de modo que la deformación menor sea 0.02mm.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali [imagen33]. Tomada por Pablo Lasso



*(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali [imagen34]. Tomada por Pablo Lasso*



#### 4.2.1.1. Informe de ensayo Prueba de Placa en Capa Base (Con Geo textil)

Ensayo: Ensayo # 1

Fecha: 1 de septiembre 2017

Tiempo inicial: 10:15am

Tiempo final: 11:56am

Lista del personal:

Volquetero temporal: David Padilla

Auxiliar del laboratorio: Noé Duran Londoño

Estudiante: Pablo Cesar Lasso González

Dirección: cra 57 entre calle 13 y 13 b

Barrio: 1 de mayo (vía frente a un auto lavado)

Equipo: Utilizado de la universidad del valle en su totalidad

Condiciones atmosféricas: clima soleado 31° c sin viento

Condición anormal: mucha basura en el lugar del ensayo, previa limpieza del terreno para trabajar; para transportar todo el equipo a campo conté con vehículo propio traslado del equipo.

Se utilizó una base de arena grada para estabilizar la base de colocación de las placas, esto por la presencia de pequeñas rocas que dificultaban la estabilidad del equipo en el terreno.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali [imagen35]. Tomada por Pablo Lasso

Apoyo:				Diametro Placa :		18 pl		
Lectura anillo	ESFUERZO lb/pl <sup>2</sup>	LECTURA			DEFLEXION			DEFLEXION (0,0001 pl.)
		DEF. # 1 0,001 pl	DEF. # 2 0,001 pl	DEF. # 3 0,001	1 0,001 pl	2 (0,0001 pl.)	3 0,001	
90	3,5	827	527	605	0	0	0	0
150	5,8	824	525	603	3	2	2	2
200	7,8	822	521	600	5	6	5	5
250	9,7	819	518	597	8	9	8	8
300	11,7	816	515	595	11	12	10	11
350	13,6	813	513	592	14	14	13	14
400	15,6	810	511	590	17	16	15	16
450	17,5	806	508	588	21	19	17	19
500	19,5	804	503	583	23	24	22	23
90	3,5	822	523	601	5	2	4	4

Tabla 6. Prueba de placa ensayo #1

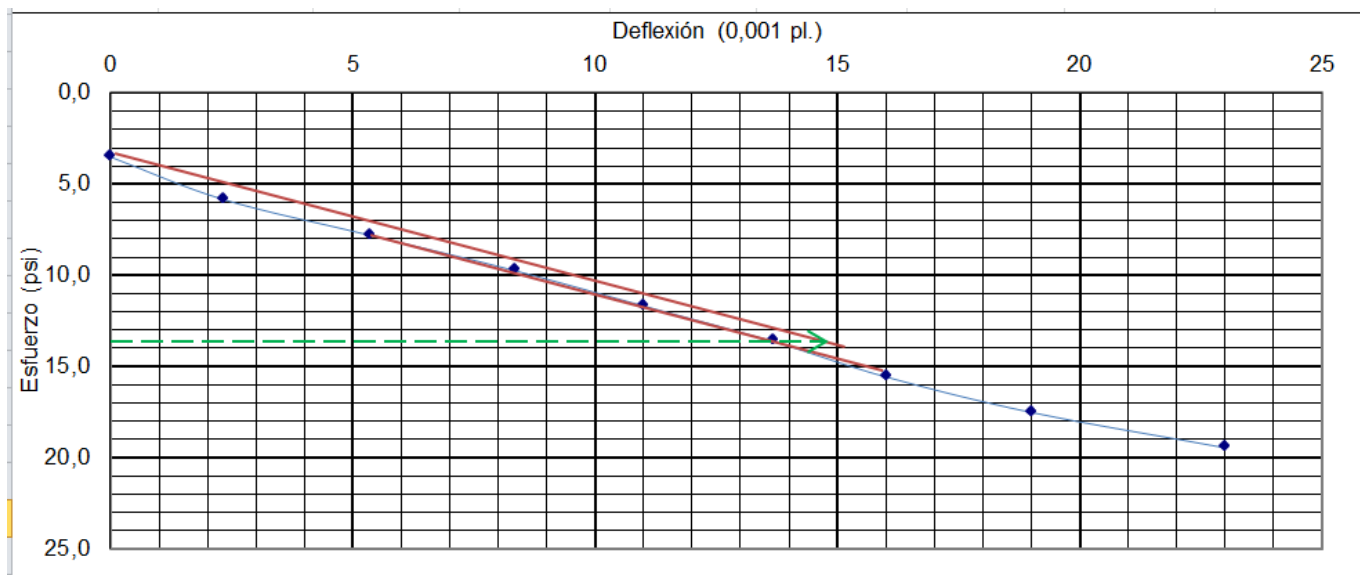


Tabla 7. Prueba de placa grafica ensayo # 1

DEFLEXION (0,001 pl.)	15
MODULO DE REACCION $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	667
MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	480
<b>MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA <math>K_u</math> (MPa)/m</b>	<b>130</b>

Tabla 8. Deflexión y módulos ensayo # 1

Para la prueba de placa realizada en la Base de la vía con El uso de geo textil la deflexión fue de 0.015pl con un módulo de reacción corregido  $K_u = 130$  Mpa/m.

#### 4.2.1.2. Informe de ensayo Prueba de Placa en Capa Base (Sin Geo textil)

Ensayo: Ensayo # 2

Fecha: 1 de septiembre 2017

Tiempo inicial: 12:00m

Tiempo final: 1:12pm

Lista del personal:

Volquetero temporal: David Padilla

Auxiliar del laboratorio: Noé Duran Londoño

Estudiante: Pablo Cesar Lasso González

Dirección: cra 57 entre calle 13 y 13 b

Barrio: 1 de mayo (vía frente a un auto lavado)

Equipo: Utilizado de la universidad del valle en su totalidad

Condiciones atmosféricas: clima soleado 31° c sin viento

Condición anormal: mucha basura en el lugar del ensayo, previa limpieza del terreno para trabajar; para transportar todo el equipo a campo conté con vehículo propio traslado del equipo.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali [imagen36]. Tomada por Pablo Lasso

Apoyo:					Diametro Placa :			18 pl	
		LECTURA			DEFLEXION			DEFLEXION	
Lectura	ESFUERZO	DEF. # 1	DEF. # 2	DEF. # 3	1	2	3	(0,0001 pl.)	
anillo	lb/pl2	0,001 pl	0,001 pl	0,001	0,001 pl	0,001 pl	0,001		
90	3,5	528	666	512	0	0	0	0	
150	5,8	524	663	509	4	3	3	3	
200	7,8	520	659	506	8	7	6	7	
250	9,7	517	655	503	11	11	9	10	
300	11,7	513	651	499	15	15	13	14	
350	13,6	510	649	495	18	17	17	17	
400	15,6	507	644	491	21	22	21	21	
450	17,5	503	639	485	25	27	27	26	
500	19,5	500	635	482	28	31	30	30	
90	3,5	516	632	504	12	13	8	11	

Tabla 9. Prueba de placa ensayo # 2

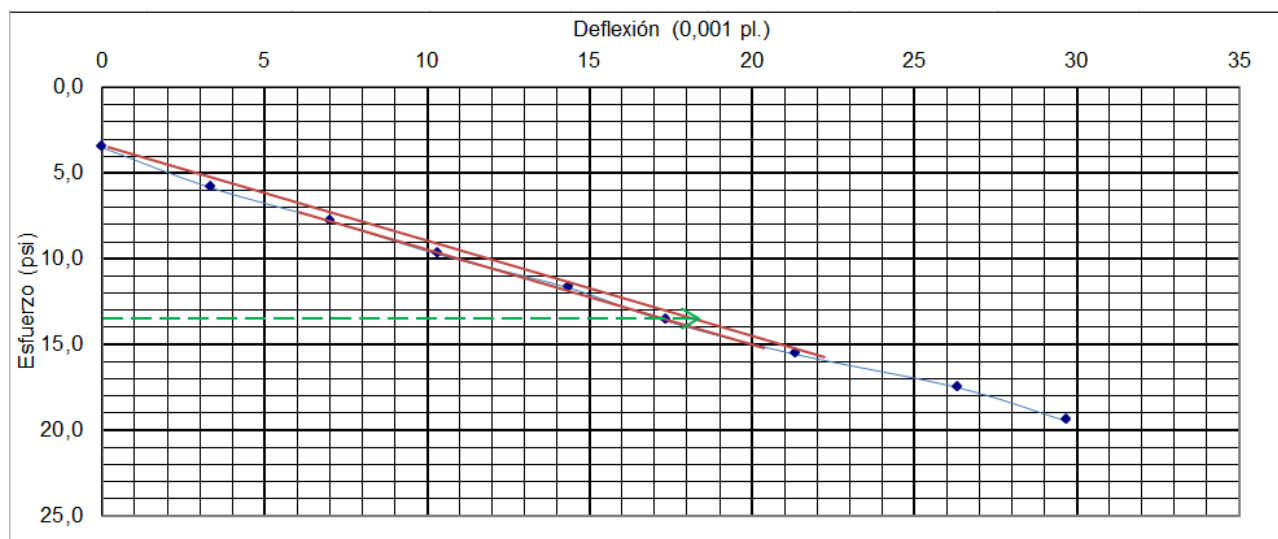


Tabla 10. Prueba de placa grafica ensayo # 2

DEFLEXION (0,001 pl.)	18
MODULO DE REACCION $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	556
MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	430
<b>MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA <math>K_u</math> (MPa)/m</b>	117

Tabla 11. Deflexión y módulos ensayo # 2

Para la prueba de placa realizada en la Base de la vía Sin El uso de geo textil la deflexión fue de 0.018pl con un módulo de reacción corregido  $K_u$ = 117 Mpa/m.

#### 4.2.1.3. Informe de ensayo Prueba de Placa en Carpeta Asfáltica (Con Geo textil)

Ensayo: Ensayo # 3

Fecha: 16 de septiembre 2017

Tiempo inicial: 7:00pm

Tiempo final: 7:30pm

Lista del personal:

Volquetero temporal: David Padilla

Auxiliar del laboratorio: Noé Duran Londoño

Estudiante: Pablo Cesar Lasso González

Dirección: cra 57 entre calle 13 y 13 b

Barrio: 1 de mayo (vía frente a un auto lavado)

Equipo: Utilizado de la universidad del valle en su totalidad

Condiciones atmosféricas: viento leve 23° c

Condición anormal: Carpeta asfáltica a pocos días de ser fundida, temperatura aproximada de 23° c para transportar todo el equipo a campo conté con vehículo propio traslado del equipo. El ensayo se realizó en la noche por ocupaciones varias en el día lo impidieron.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo en Cali [imagen37]. Tomada por Pablo Lasso



Apoyo:					Diametro Placa :			18 pl	
		LECTURA			DEFLEXION			DEFLEXION	
Lectura	ESFUERZO	DEF. # 1	DEF. # 2	DEF. # 3	1	2	3	(0,0001 pl.)	
anillo	lb/pl2	0,001 pl	0,001 pl	0,001	0,001 pl	(0,0001 pl.)	0,001		
90	3,5	458	500	521	0	0	0	0	
150	5,8	452	498	519	6	2	2	3	
200	7,8	448	495	517	10	5	4	6	
250	9,7	444	493	513	14	7	8	10	
300	11,7	442	491	510	16	9	11	12	
350	13,6	440	489	508	18	11	13	14	
400	15,6	437	486	506	21	14	15	17	
450	17,5	434	484	505	24	16	16	19	
500	19,5	432	480	502	26	20	19	22	
90	3.5	451	523	601	7	-9	-80	-27	

Tabla 12. Prueba de placa ensayo # 3

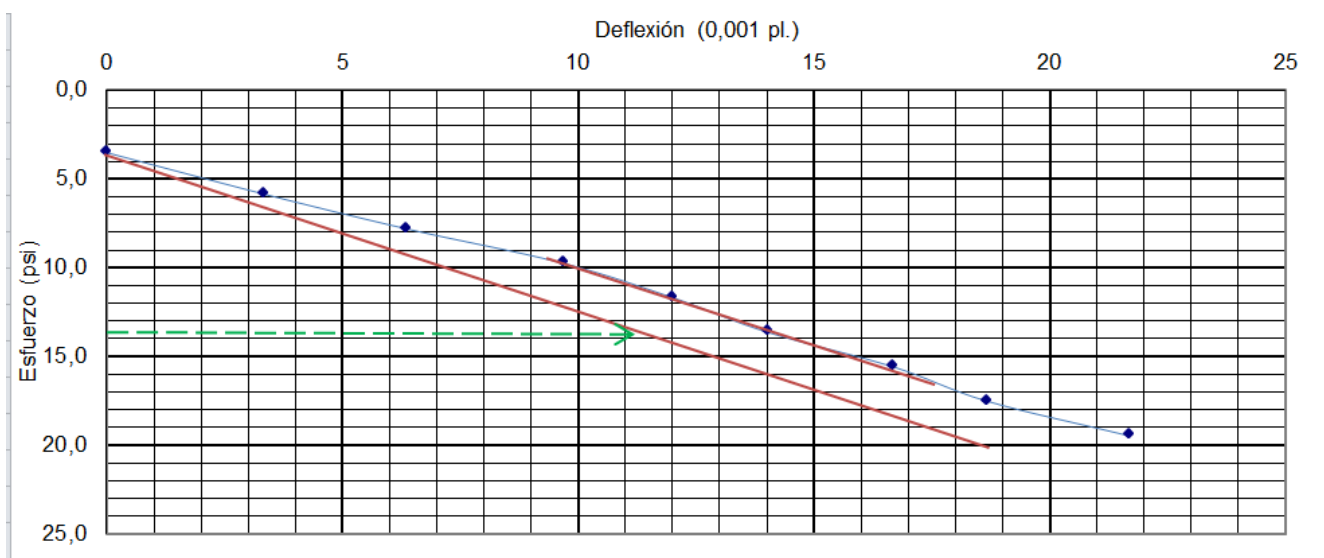


Tabla 13. Prueba de placa grafica ensayo # 3

DEFLEXION (0,001 pl.)	11
MODULO DE REACCION $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	909
MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	625
<b>MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA <math>K_u</math> (MPa)/m</b>	<b>170</b>

Tabla 14. Deflexión y módulos ensayo #3

Para la prueba de placa realizada sobre la carpeta asfáltica de la vía Con El uso de geo textil la deflexión fue de 0.011pl con un módulo de reacción corregido  $K_u = 170$  Mpa/m.

#### 4.2.1.4. Informe de ensayo Prueba de Placa en Carpeta Asfáltica (Sin Geo textil)

Ensayo: Ensayo # 4

Fecha: 16 de septiembre 2017

Tiempo inicial: 7:30pm

Tiempo final: 8:00pm

Lista del personal:

Volquetero temporal: David Padilla

Auxiliar del laboratorio: Noé Duran Londoño

Estudiante: Pablo Cesar Lasso González

Dirección: cra 57 entre calle 13 y 13 b

Barrio: 1 de mayo (vía frente a un auto lavado)

Equipo: Utilizado de la universidad del valle en su totalidad

Condiciones atmosféricas: viento leve 23° c

Condición anormal: Carpeta asfáltica a pocos días de ser fundida, temperatura aproximada de 23° c para transportar todo el equipo a campo conté con vehículo propio traslado del equipo. El ensayo se realizó en la noche por ocupaciones varias en el día lo impidieron.



(s.f.)Ubicación barrio 1 de mayo cra 57 con calle 13 en Cali [imagen38]. Tomada por Pablo Lasso

Apoyo:					Diametro Placa :		18 pl	
		LECTURA			DEFLEXION			DEFLEXION
Lectura	ESFUERZO	DEF. # 1	DEF. # 2	DEF. # 3	1	2	3	(0,0001 pl.)
anillo	lb/pl <sup>2</sup>	0,001 pl	0,001 pl	0,001	0,001 pl	0,001 pl	0,001	
90	3,5	581	338	440	0	0	0	0
150	5,8	577	333	437	4	5	3	4
200	7,8	572	331	432	9	7	8	8
250	9,7	568	328	430	13	10	10	11
300	11,7	565	324	431	16	14	9	13
350	13,6	562	321	428	19	17	12	16
400	15,6	559	319	424	22	19	16	19
450	17,5	557	317	419	24	21	21	22
500	19,5	555	314	415	26	24	25	25
90	3,5	568	330	426	13	8	14	12

Tabla 15. Prueba de placa ensayo # 4

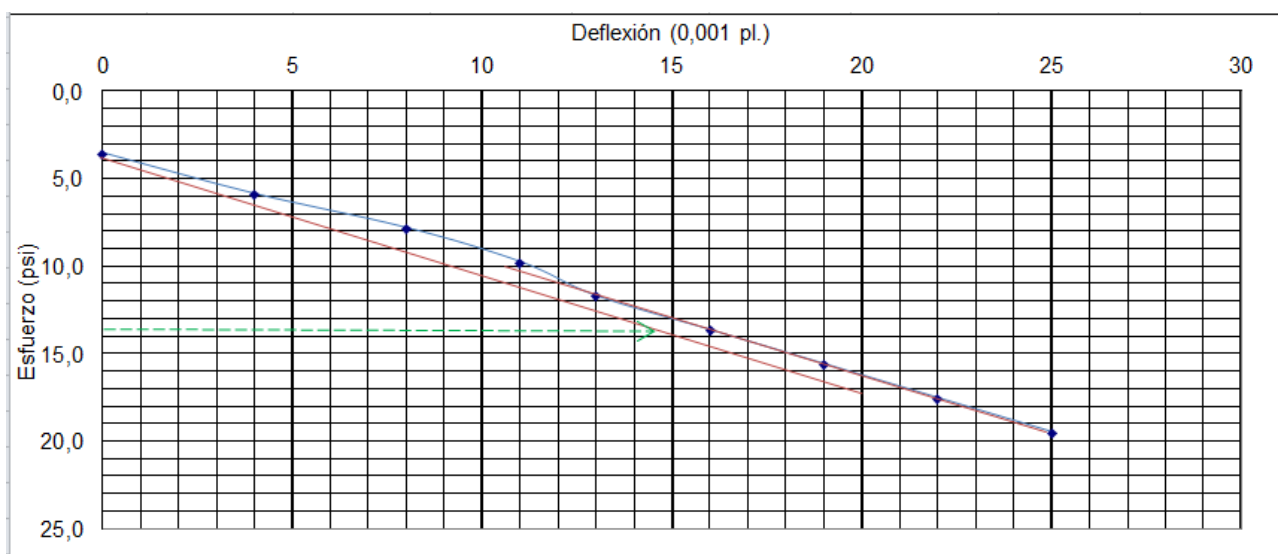


Tabla 16. Prueba de placa grafica ensayo # 4

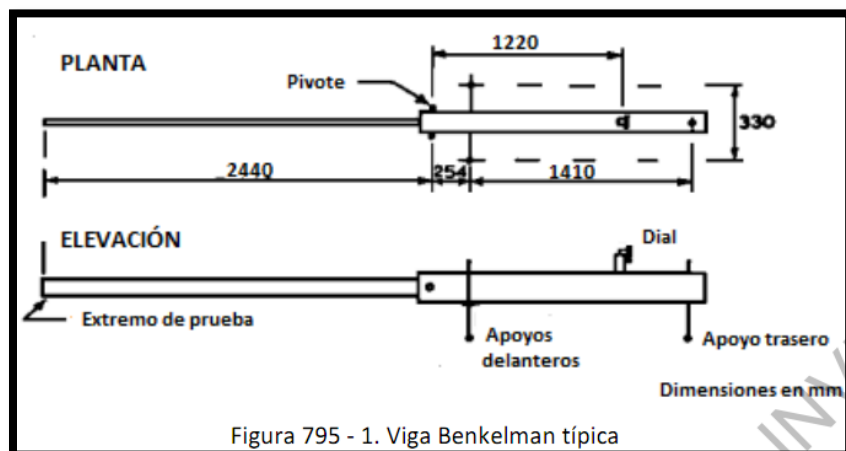
DEFLEXION (0,001 pl.)	14,5
MODULO DE REACCION $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	690
MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA $K_u$ (lb/pl <sup>2</sup> )/pl.	500
<b>MODULO DE REACCION CORREGIDO DEFLEX. PLACA <math>K_u</math> (MPa)/m</b>	<b>136</b>

Tabla 17. Deflexión y modulo ensayo #4

Para la prueba de placa realizada sobre la carpeta asfáltica de la vía Sin El uso de geo textil la deflexión fue de 0.0145pl con un módulo de reacción corregido  $K_u = 136$  Mpa/m.

## 4.2.2. Ensayo Viga Benkelman

### 4.2.2.1. Ensayo Viga Benkelman sobre Carpeta Asfáltica (Con Geo textil)



Para medir las deflexiones en la superficie del pavimento, se usará el deflectómetro conocido como la Viga Benkelman, el cual es un instrumento que funciona según el principio de una palanca, uno de sus extremos se apoya en el pavimento deformado ante la aplicación de una carga, mientras que el otro está en contacto sensible con un deformímetro de precisión, con dial de lecturas graduado en centésimas de mm. dependiendo de la relación de brazos del equipo y de la factibilidad que el dial proporcione la verdadera magnitud de las medidas, en forma automática, se establece si es necesario corregir o no las lecturas.

La rueda dual externa deberá ser colocada sobre el punto seleccionado, quedando éste ubicado entre ambas llantas. Para la correcta ubicación de la misma es conveniente colocar en la parte trasera externa del camión una guía vertical en correspondencia con el eje de carga; desplazando suavemente el camión, se hace coincidir la guía vertical con la línea transversal, de modo que simultáneamente el punto quede entre ambas llantas de la rueda dual y que coincida aproximadamente con el eje vertical del centro de gravedad del conjunto.

Se escoge el ancho de carril para la distancia al punto del ensayo.

Ancho del carril	Distancia del punto de ensayo desde el borde del pavimento
2,70 m	0,45 m
3,00 m	0,60 m
3,30 m	0,75 m
3,60 m o más	0.90 m

Tabla 18. Ancho de carril vs distancia de ensayo

Ancho = 0,75m.

La bolqueta debe de cargar el pavimento con una carga de prueba de 80kn en el eje trasero simple con rueda doble y los neumaticos con una presion de inflado de 80lb/pg2 (I.N.V.E-795).

Luego de escoger un ancho de carril se coloca la viga sobre el pavimento detrás del camion perpendicular al eje de la carga, como se ilustra en la siguiente imagen.



(s.f.) *Ensayo viga Benkelman ubicación de viga en pavimento.* [Imagen]. Tomada por Pablo Lasso

Se libera el seguro de los brazos y se ajusta la base de la viga por los tornillos que quedan atrás quedando así la parte posterior del brazo en contacto con los diales. Posterior a esto se ajusta el bastago y se hace la lectura inicial  $L_0$ . (I.N.V. E- 795-8.2.4)

La bolqueta avanza suavemente casi aproximadamente 5 m y se toman lecturas cada 60 segundos golpeando el dial con el lapiz levemente finalizando el ensayo cuando no difiera 0.01mm una lectura de la otra. (I.N.V. E- 795-9).

En los calculos iniciales se halla la deflexion de la superficie en cada punto restando la lectura inicial del dial con las lecturas finales. (I.N.V. E- 10.1).

$d_i =  L_0 - L_f  \times \text{Constante de la viga}$	[795.1]
Donde: $L_0$ : Lectura inicial del dial, 0.01 mm;	

También se calcula el radio de curvatura para ambas vigas donde la deflexión de segunda viga se hace igual con las lecturas de su respectivo dial. (I.N.V. E- 10.3).

$$RC = \frac{3125}{d_i - d_{i25}} \quad [795.2]$$

Donde: RC: Radio de curvatura, m (Tabla 795 - 2);

$d_i$ : Deflexión recuperable en el eje vertical de la carga, 0.01 mm;

$d_{i25}$ : Deflexión recuperable a 25 cm del eje vertical de la carga, 0.01 mm.

Al tratarse de una deflexion a una temperatura de 24.4°C y la capa tener un espesor de 10cm se debe hacer correccion por temperatura (I.N.V. E- 10.4).

$$F_T = \frac{1}{1 + [8 \times 10^{-4} \times H_a \times (T - 20)]} \quad [795.3]$$

Donde:  $F_T$ : Factor de corrección;

$H_a$ : Espesor de las capas asfálticas, cm;

$T$ : Temperatura de las capas asfálticas en el instante del ensayo, ° C.

Para finalizar los valores de  $Z_r$  (nivel de confiabilidad) asumido para la deformacion característica:

Tabla 795 - 3. Valores de  $Z_r$  por aplicar a la desviación estándar para diferentes niveles de confiabilidad

CONFIABILIDAD (%)	$Z_r$
50	0.000
75	0.674
85	1.037
90	1.282
95	1.645
97	1.881
98	2.054
99	2.327

$Z_r=2$  (Confiabilidad del 98%).

A continuación se presenta las lecturas de campo y cálculos del ensayo de viga benkelman para el pavimento con y sin la presencia del geo textil sintético tejido.

#### 4.2.2.2. Ensayo Viga Benkelman sobre Carpeta Asfáltica (Con Geo textil)

Ensayo	Abscisa	Lecturas de campo					Lectura real				$(D_0 - D_m)^2$	Radio de Curvatura (m)	
		Externa		Interna		Temperatura	Externa		Interna			externo	interno
		D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	Grados	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>25</sub>			
#		0,001 pl	0,001 pl	0,001 pl	0,001 pl	Fahrenheit	0,001 pl	0,001 pl	0,001 pl	0,001 pl			
1	10	2	1	2	1	76	8	4	8	4	34	308	308
2	20	3	2	3	2	76	12	8	12	8	3	308	308
3	30	4	3	4	3	76	16	12	16	12	5	308	308
4	40	3	2	3	2	76	12	8	12	8	3	308	308
5	50	4	3	4	3	76	16	12	16	12	5	308	308
6	60	4	3	4	3	76	16	12	16	12	5	308	308
7	70	2	1	2	1	76	8	4	8	4	34	308	308
8	80	2	1	2	1	76	8	4	8	4	34	308	308
9	90	2	1	2	1	76	8	4	8	4	34	308	308
10	100	4	2	4	2	76	16	8	16	8	5	154	154
11	110	4	3	4	3	76	16	12	16	12	5	308	308
12	120	5	3	5	3	76	20	12	20	12	38	154	154
13	130	4	2	4	2	76	16	8	16	8	5	154	154
14	140	5	4	4	3	76	20	16	16	12	38	308	308
15	150	4	3	4	3	76	16	12	16	12	5	308	308
						Sumatoria	208			Sumatoria	251,7		
Estado del Tiempo:		seco				Deflexión media (0,001pl)	13,9						
Factor:		1,0				Desviación estándar	4,2						
Numero de datos		15				Coeficiente de variación	30,6						
						Deflexión característica (0,001pl)	22,3						

Tabla 19. Ensayo de viga Benkelman sobre carpeta asfáltica con geo textil

#### 3.2.2.2. Ensayo Viga Benkelman sobre Carpeta Asfáltica (Sin Geo textil)

Ensayo #	Abscisa	Lecturas de campo					Lectura real				$(D_0 - D_m)^2$	Radio de Curvatura (m)	
		Externa		Interna		Temperatura  Grados  Fahrenheit	Externa		Interna			externo	interno
		D <sub>0</sub> 0,001 pl	D <sub>26</sub> 0,001 pl	D <sub>0</sub> 0,001 pl	D <sub>26</sub> 0,001 pl		D <sub>0</sub> 0,001 pl	D <sub>26</sub> 0,001 pl	D <sub>0</sub> 0,001 pl	D <sub>26</sub> 0,001 pl			
1		6	4	6	4	76	24	16	24	16	1	154	154
2		7	6	7	6	76	28	24	28	24	8	308	308
3		8	7	8	7	76	32	28	32	28	48	308	308
4		7	6	7	6	76	28	24	28	24	8	308	308
5		8	7	8	7	76	32	28	32	28	48	308	308
6		8	7	8	7	76	32	28	32	28	48	308	308
7		6	4	6	4	76	24	16	24	16	1	154	154
8		6	4	6	4	76	24	16	24	16	1	154	154
9		4	3	4	3	76	16	12	16	12	83	308	308
10		5	3	5	3	76	20	12	20	12	26	154	154
11		4	2	4	2	76	16	8	16	8	83	154	154
					Sumatoria		276		Sumatoria		354,9		
Estado del Tiempo:		seco			Deflexión media (0,001pl)		25,1						
Factor:		1,0			Desviación estándar		6,0						
Numero de datos		11			Coeficiente de variación		23,7						
						Deflexión característica (0,001pl)		37,0					

Tabla 20. Ensayo de viga Benkelman sobre carpeta asfáltica sin geo textil

## 5. RESUMEN DE RESULTADOS

### Prueba de Placa

Ensayo	Uso de geo textil sintético tejido			
	<i>Sin Geo textil</i>		<i>Con Geo textil</i>	
Prueba de Placa	<i>Módulo de Reacción</i>	<i>Deflexión</i>	<i>Módulo de Reacción</i>	<i>Deflexión</i>
<b>Base Granular</b>	117 Mpa/m	0.018pl	130Mpa/m	0.015pl
<b>Carpeta Asfáltica</b>	136 Mpa/m	0.0145pl	170Mpa/m	0.011pl

- Se requiere una presión mayor para lograr una deformación determinada en las capas superiores de la vía por sobre las inferiores de esta; en otras palabras, el módulo de reacción también aumenta mientras más superior sea la capa donde se realice el ensayo razonamiento lógico que se deduce por la composición de sus materiales, distribución, disposición y requerimientos necesarios.
- En los casos de prueba de placa se tuvo que hacer corrección de carga para cada deformación mediante una gráfica de calibración del equipo (gato hidráulico) + carga de ajuste P/2 corregida de igual manera + peso propio del equipo (juego de placas, gato hidráulico, micrómetros).

### Prueba de Viga Benkelman

Ensayo	Uso de geo textil sintético tejido			
	<i>Sin Geo textil</i>		<i>Con Geo textil</i>	
Viga Benkelman	<i>Deflexión Media</i>	<i>Deflexión Característica</i>	<i>Deflexión Media</i>	<i>Deflexión Característica</i>
<b>Carpeta Asfáltica</b>	0.0251pl	0.037pl	0.0139pl	0.0223pl

- Con base en el ensayo de viga Benkelman realizado con el geo textil y sin el geo textil.se determina que el radio de curvatura tuvo una variación de 154m a 308m respectivamente (50%).
- La deflexión media disminuye de 0.0251pl a 0.0139pl al usar el geo textil (44%).
- La deflexión característica disminuye de 0.037pl a 0.0223pl al usar el geo textil (39%).



## 6. CONCLUSIONES

Se encontró la variación del módulo de reacción Ku de la estructura mediante el uso de un geo textil tejido aplicado a la sub rasante de un pavimento flexible dando un mejoramiento en un 20%, dando a entender que el material con geo textil tejido tiene mejor resistencia.

Se encontró la variación de la deflexión característica de la estructura de pavimento usando el geo textil tejido y sin el mismo, dando un menor porcentaje de deflexión cuando se aplica el geo textil aproximado al 6%, permitiéndonos concluir que deflecta mucho menos con la presencia del geo textil.

Tanto la deflexión media como la deflexión característica de la estructura de pavimento disminuyeron 44 y 39 por ciento respectivamente al implementar el geo textil denotando una mejoría en la estructura con el uso del material y siendo un pro el uso de geotextiles en este tipo de proyectos.

La medición de las deflexiones, como respuesta de un pavimento flexible ante la aplicación de una carga sobre el pavimento, es la base para la evaluación estructural de pavimentos y al esta medición no ser un ensayo destructivo brinda información que puede utilizarse para evaluación de pavimentos nuevos o incluso en servicio.

Las deflexiones en la superficie de un pavimento reflejan una respuesta global del sistema pavimento – subrasante (Estructura del Pavimento) bajo una carga dada y su medición es simple y rápida.

Se requiere una presión mayor para lograr una deformación determinada en los tramos de vía con geo textil sobre los que no lo tienen geo textil; dicho de otro modo con la presencia del geo textil sintético tejido aumenta el módulo de reacción en la estructura de pavimento.

## 7. RECOMENDACIONES

Despertar el interés de los alumnos de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil y sobre todo el énfasis en la aplicación de la deformación de pavimento flexible con la Viga de Benkelman como ensayo rápido y eficaz.

En ciudades como Cali que pasan por el rápido crecimiento no es de menor importancia tener este tipo de ensayos en cuenta para control deflexiones en pavimentos.

CBR<sup>0.64</sup>

## 8. BIBLIOGRAFIA

- *Control de la capacidad portante mediante la deformabilidad (NLT 357)*, además de la Normativa Alemana (DIN 18134) y Normativa Suiza (SNV-40317 y STB-59).
- Campaña, Javier; Mata, Wilson; Mendoza, Javier. *Los Geo sintéticos Aplicados a Obras de Pavimentos Flexibles (2011) Escuela Superior Politécnica, Guayaquil, Ecuador.*
- Instituto Nacional de vías (INVIAS). *Especificaciones generales de la construcción de materiales “sección 700 y 800 materiales y mezclas asfálticas y prospección de pavimentos (parte 1 y 2)”* (2013) ministerio de transporte, Cali.
- Instituto Nacional de vías (INVIAS). *Especificaciones generales de la construcción de carreteras” capítulo 4. Pavimentos asfálticos. Art.450 – mezclas asfálticas en caliente para gradación continua* (2013) ministerio de transporte, Cali.
- Instituto Nacional de vías (INVIAS). *Especificaciones generales de la construcción de carreteras” capítulo 3. Afirmados, subbases y bases. Art.300 – disposiciones generales para ejecución de bases, subbases, afirmado y estabilizadas.*(2013) ministerio de transporte, Cali.
- “www.Geomatrix.com”, Galería de imágenes y catalogo; Marzo (2015).
- Beltrán, Carlos. *Ventajas de la utilización de geo sintéticos para el esfuerzo de pavimento en la carrera 7 estación transmilenio museo nacional.* (2003) universidad militar nueva granada, Bogotá.
- Botasso, Gerardo; Fensel, Enrique; Ricci, Luis. *Caracterización de geo sintéticos para uso vial*: Centro de Investigaciones Viales, UTN Facultad Regional La Plata (LEMáC).

- American Psychological Association [APA] (2010). *Manual de publicaciones de la American sychological Association*. [Traducción al español de Publication Manual of the American Psychological Association] (3a ed.). México: El Manual Moderno.
- Geotextiles and geomembranes in civil engineering. Gerard P.T. Van Santvoort. A. A. Balkema. 1994.
- Otras Referencias: <http://www.polyfelt.com> <http://www.huesker.com>  
<http://www.fibertex.com>
- Galeria de imágenes del departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (área de construcción) de la Universidad de Cantabria. Francisco Ballester Muñoz Daniel Castro Fresno Miguel Gil Ocejá
- Evaluación, Construcción y Control de Calidad de Pavimentos". Lima-Perú. MTC (EG-2000)".
- <https://www.giteco.unican.es/pdf/publicaciones/AYC30-X-2000.pdf>